EB

Eli Katz

Creier uman și creier artificial

Creierul artificial — calculatorul electronic universal — constituie neîndoielnic una dintre marile realizări ale celei de a doua jumătăți a secolului al XX-lea aflată, se poate afirma cu certitudine, abia la începuturile dezvoltării sale. Potrivit ultimelor cercetări, creierul uman se dovedește a fi incomparabil mai complex decît se bănuia și el rezervă încă multe surprize cunoașterii viitoare. Cît de departe s-a mers și cît de departe se poate merge în dezvoltarea creierului artificial? Iată întrebări majore la care răspunsul poate fi ori foarte ușor, ori foarte dificil de conturat; depinde de sfera problemelor ce se vor implicate.

Spectrul părerilor în problema raporturilor creier uman-creier artificial este foarte întins, ele fiind puternic „colorate" de ideologia și de profesia celui care abordează problema. Cartea prezintă un punct de vedere unitar, corelînd unghiul științific cu cel filosofic și social într-o confruntare permanentă a părerilor și urmărind conturarea problemei granițelor, adică a posibilităților principiale și reale ale creierilor artificiali. Elementele științifice și tehnice necesare sînt prezentate în așa fel încît cititorul să le poată privi ca „din interiorul științei și tehnicii", să poată „participa" activ la discuție.

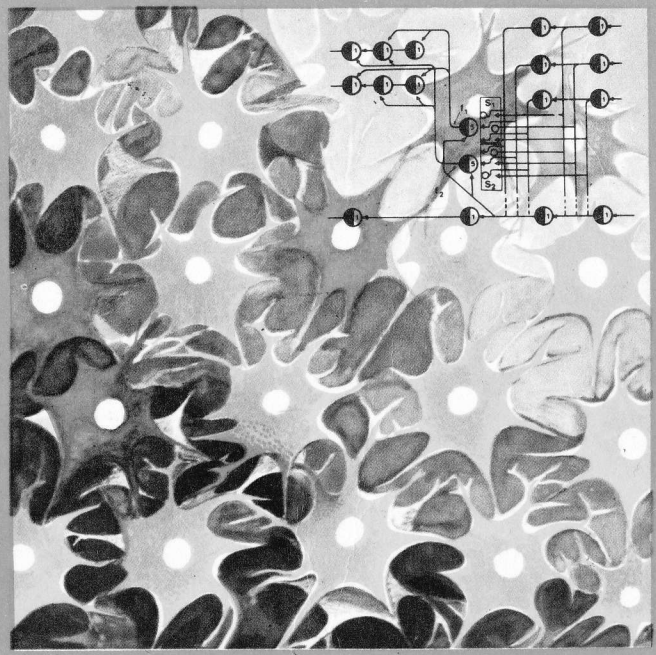
Lei 10

EB

ENCICLOPEDIA DE BUZUNAR

ELI KATZ

CREIER UMAN ȘI CREIER ARTIFICIAL



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ

„Calculatorul electronic (creierul artificial) constituie literalmente o minune a electronicii. El n-a fost însă niciodată gîndit ca să ierte sau să încurajeze din partea celui care-l folosește o gîndire tulbure sau încîlcită. Pentru a obține rezultatele dorite, orice problemă pusă calculatorului cere o însemnată cantitate de gîndire precisă, logică. În industria calculatoarelor circulă o vorbă care caracterizează foarte bine această idee: IGIG — Introduci Gunoaie, Ies Gunoaie. Țineți deci minte că cel mai minunat calculator electronic nu-l eliberează pe cel care-l folosește de răspunderea unei folosiri corecte a calculatorului din propriul craniu".

Dintr-un manual de instruire a studenților pentru folosirea calculatoarelor electronice în cercetarea științifică. (*Computers, Basic, and Physics*; H.D. Peckman, Reding, Mass, Addinson-Wesley Publ. Comp., 1971, p. 4.)

I. INTRODUCERE

Oricît de greu îi este contemporanului să-și judece propria epocă și să-i desprindă trăsăturile esențiale, oricare ar fi părerile în ceea ce privește desprinderea ca esențiale a unora sau a altora din laturile realității contemporane, cititorul va fi de acord că secolul al XX-lea, în special a doua jumătate a sa, se caracterizează net prin accelerarea fără precedent a progresului tehnico-științific și, în ansamblu, prin amploarea și prin complexitatea proceselor sociale care au loc pe toate meridianele Terrei. În mod firesc, ritmul dezvoltării diferitelor ramuri ale cunoașterii și ale practicii este inegal. Astfel, dezvoltarea fizicii particulelor elementare cunoaște astăzi o încetinire sensibilă în raport cu furtunoasa evoluție a fizicii atomice și nucleare din prima jumătate a secolului nostru, iar mecanica și astrofizica, pînă nu demult aflate în evoluție foarte lentă, înaintează în prezent cu pași rapizi. De asemenea se conturează clar tendința dezvoltării furtunoase, cu perspectiva trecerii pe prim plan, a științelor biologice, aflate pînă relativ nu demult mai la „periferia" interesului științific general. Realizările tehnice țin și ele astăzi mult mai aproape pasul cu dezvoltarea științei, iar atenția și viața omului contemporan sînt profund solicitate și modificate de „lumea" noilor valori materiale și spirituale create de ultimele generații.

Nu încercăm să prezentăm cititorului nici măcar o schiță a tabloului lumii contemporane. Am reținut totuși trăsăturile de mai sus numai pentru a sublinia importanța funda-

mentală pe care o au în dezvoltarea societății erei nucleare și cosmice, a sintezelor chimice, sau poate chiar a viitoarei ere biologice, apariția și dezvoltarea în ritm susținut a mijloacelor de prelucrare automată a informației sau, în termeni mai puțin riguroși, dar plini de conținut, a inteligenței artificiale, a creierilor artificiali.

„Mașina care gîndește" constituie astăzi o prezență indiscutabilă [1]. Mai mult, „mașini care gîndesc" sînt cuplate cu „mașini care lucrează" și constituie ansambluri aflate în relativă independență, ansambluri care prezintă „finalitate în comportare", ceea ce putem numi mai exact „finalitate artificială".

Implicațiile și consecințele prezenței acestor mașini sînt atît de mari, de profunde și de diverse, încît în mod absolut firesc problema raporturilor dintre om și mașină a devenit obiectul a numeroase dezbateri. Subliniem că prin mașină nu înțelegem aici artefactul în sensul de creație a omului capabilă să contribuie la efectuarea unor modificări specifice în mediu (de exemplu mașina-unealtă), ci artefactul care realizează procese de prelucrare a informației, de dirijare și de control, într-un cuvînt artefactul care prezintă finalitate în comportare.

Spectrul părerilor referitoare la posibilitățile acestor mașini este foarte larg: de la entuziaști la sceptici absoluți. Indiferent însă de locul în care s-ar amplasa părerea unuia sau a altuia în cadrul acestui spectru, despre care se poate afirma că prezintă un maxim spre zona entuziaștilor, indiferent de opinia concretă asupra raporturilor om-mașină, nimeni nu contestă că această dezbatere, stîrnită de posibilitățile unor mașini de a efectua operații specific psihice, a dus și a obligat la o reconsiderare, la o aprofundare a conceptiilor fundamentale, devenite în parte tradiționale, despre natural și artefact, despre gîndire, psihic, scop, finalitate și, într-un anumit sens, despre viață în general.

Puține probleme au astăzi implicații și conexiuni atît de largi și de diverse ca problema creierilor artificiali, a inteligenței artificiale. Sintetic formulată, această problemă poate fi prinsă în patru cuvinte: creier artificial ... creier uman. Problema constă în a lămuri ce anume semn ar trebui pus în locul punctelor: „egal", „diferit de", „prelungire a" sau

[1] Principalul reprezentant al „familiei" „mașinilor care gîndesc" este calculatorul electronic universal.

eventual alt semn; în a lămuri ce anume justifică punerea unuia sau a altuia din aceste semne; în a desprinde implicațiile pe diferitele planuri ale opțiunii pentru un semn sau altul; în a încerca, în fine, elaborarea unui punct de vedere unitar și necontradictoriu.

Tratarea problemei nu este ușoară. Mai întîi datorită numeroaselor domenii care intervin și interconectează în cadrul acesteia, domenii dealtfel foarte îndepărtate unele de altele și, în plus, aflate în stadii de elaborare sensibil diferite. Apoi datorită tendinței firești de a ataca și a rezolva problema potrivit psihologiei specifice profesiunii, tendință care în majoritatea cazurilor își face drum în subteran, înșelînd propria vigilență a autorului. În fine, datorită necesității stringente a profesării unei concepții de ansamblu, a unui punct de vedere filozofic coerent constituit și mărturisit, singurul în stare să ofere un fir călăuzitor consecvent într-un labirint de probleme, un labirint în care scientismul, aparent superior și afilozofic, rămîne prin însești limitele sale neputincios în fața complexității ansamblului.

Iată de ce, propunînd cititorului interesat de problematica creier artificial ... creier uman s-o parcurgă împreună cu noi (cu răbdarea pe care problema o merită din plin și pe care sperăm că cititorul nu și-o va pierde din vina autorului!), socotim necesar, pe de o parte, să precizăm că am încercat pe măsura posibilului să uităm că sîntem inginer și, pe de altă parte, să ne mărturisim drept poziție filozofică materialismul dialectic. Considerăm de asemenea necesar să arătăm de ce am socotit mai potrivită desfășurarea dezbaterii pe un plan mai larg și care anume este acest plan.

Pentru stabilirea concepției și structurii lucrării noastre avem la îndemînă posibilitatea de a orienta elaborarea pe două căi: fie să ne hotărîm pentru prezentarea creierilor artificiali, încercînd să evaluăm posibilitățile actuale și de perspectivă ale acestora; fie să urmărim pe diferite planuri funcția pe care o îndeplinește în desfășurarea vieții sistemul nervos în general și creierul uman în particular, pentru a desprinde treaptă cu treaptă ceea ce apropie sau deosebește creierul uman de modelul său artificial.

Din considerente foarte simple am optat pentru a doua cale. Dacă ar fi trebuit să evaluăm numai posibilitățile actuale ale creierilor artificiali, problema ar fi fost relativ simplă, întrucît posibilitățile reale actuale ale creierilor artificiali, raportate la posibilitățile creierului uman, sînt infime, ori-

cît ar apărea de spectaculoase în sine. În acest caz, primul mod de expunere ar fi fost pe deplin adecvat. Dacă ne referim însă la posibilitățile de perspectivă, este necesară o atitudine mai circumspectă în efectuarea extrapolării. Ca această extrapolare să aibă șanse de a nu fi cît de cît arbitrară este necesar ca ea să-și tragă rădăcinile din considerarea funcției primordiale, esențiale a sistemului nervos în general, a creierului în particular.

Creierul uman constituie cel mai rafinat „instrument" de coordonare și de conducere pe care-l „cunoaștem" pînă astăzi, și ca atare, de realizare a conservării organismului în condițiile aleatorii și profund dezorganizatoare ale mediului înconjurător, conservare dealtfel specifică vieții în general, conservare activă, „conservare prin modificare".

Viața, așa cum o cunoaștem, se desfășoară în planul macrosistemelor [1], sau, dacă vreți, în formă de macrosisteme. Legile generale ale desfășurării proceselor fizice în macrosisteme sînt prinse în cadrul termodinamicii și sînt legate în principal de conceptele de energie și entropie. De aceea am considerat necesar să începem cu prezentarea acestor noțiuni pe măsura și în contextul în care ele intervin în problematica ce ne interesează, în principal pornind de la faptul că orice formație vie constituie o încălcare locală a legii creșterii entropiei (formația vie se opune activ acțiunii dezorganizatoare a mediului), iar sistemul nervos are drept funcție principală coordonarea și asigurarea acestei încălcări pentru formația vie dată. Pentru a putea efectua această coordonare, sistemul nervos desfășoară o interacțiune specifică: interacțiunea informațională. De aceea în continuare ne ocupăm de aceasta din urmă, acordîndu-i toată ponderea necesară, avînd în vedere că creierii artificiali constituie în primul rînd mijloace de prelucrare a informației. În cadrul interacțiunii informaționale, reflectarea (lumea pe planul idealului) apare pe diferite niveluri și din ce în ce mai complexă, de unde și tratarea în capitolul următor, iarăși din punctul de vedere care ne interesează, a problematicii reflectării și a cunoașterii. Aminteam mai înainte că esența funcției sistemului nervos este dirijarea proceselor formației vii în direcția conservării acesteia. Dirijarea implică însă nu numai cunoaștere, ci și acțiune coordonată cu mediul și cu rezultatul acțiunii precedente, cu alte cuvinte dirijarea implică reacție, în particular reacția inversă, adică prinderea în buclă închisă. La rîndul ei, reacția inversă constituie elementul din care apare, din care se constituie finalitatea. Capitolul următor tratează unele laturi ale problematicii reacției inverse și finalității care permit punerea în lumină și în planul respectiv a relației natural-artificial. Ajunși aici, putem aborda și abordăm mai întîi structura automatelor în general, a creierilor artificiali în particular, și pe urmă problema raporturilor creier artificial — creier uman.

[1] Macrosistem în accepția termodinamică a termenului (vezi capitolul I).

Urmînd firul expunerii pe care l-am prezentat, sperăm să ne justificăm punctul de vedere, pe care ne rezervăm însă dreptul să-l precizăm în încheiere, unde concizia formulării este mult mai puțin amenințată de pericolul unei înțelegeri unilaterale.

Trecînd deci la abordarea problemelor creierului artificial din punctul de vedere al raporturilor cu creierul uman (sau, mai larg, al raporturilor om-mașină, viață-artefact „cu finalitate"), socotim de datoria noastră să punem în gardă cititorul asupra unui aspect, dealtfel prezent în orice dezbatere, dar deosebit de pregnant reliefat în cadrul temei în discuție, și anume asupra faptului că folosirea într-un sens sau altul, cu o nuanță sau alta a conceptelor cu care se lucrează implică deja poziția finală, de sinteză, chiar dacă această implicare este mediată. Prin urmare, atenție! Fiecare *da* sau *nu* parțial poate implica, în cadrul unei concepții logic consecvente, caracterul răspunsului final. Mai mult, așa cum precizam mai înainte, atenție la fiecare nuanță. Atunci cînd am formulat din primul moment că mașina va fi considerată aici ca un artefact cu finalitate în comportare, am făcut-o conștienți fiind că problema pusă rămîne deschisă. Dacă nu se poate contesta prezența unei finalități în modul de funcționare al unei mașini, problema pusă — raportul dintre om și mașină — poate fi reformulată ca fiind problema caracterului finalității în cazul omului, sau, mai general, în cel al sistemelor vii, și în cel al mașinii. Și dacă am vrea să ducem mai departe exemplificarea faptului că alegerea termenilor poate implica poziția finală, atragem atenția cititorului că prima oară am utilizat pentru mașină formularea de „finalitate în comportare", iar a doua oară am vorbit de „prezența finalității în modul de funcționare al mașinii" deoarece problema pe care urmează s-o discutăm poate fi pusă și în forma: care ar fi — dacă există — deosebirile principiale dintre com-

portarea înzestrată cu finalitate a omului (a vieții!) și cea a artefactului (a produsului omului)? Prima formulare înclină spre negarea vreunei deosebiri principiale, iar a doua spre afirmarea acesteia. Tot astfel, cînd am scris că „mașina care gîndește" constituie astăzi o prezență indiscutabilă, am pus expresia între ghilimele, deoarece indiscutabilă este existența unor mașini care *par* că gîndesc, dar este mai mult decît discutabil dacă această „gîndire" este aceeași cu gîndirea omului.

Răspunsul, așa cum îl vedem noi astăzi, urmează însă să-l dăm la sfîrșit. Pînă atunci este necesar să parcurgem treptat diferitele domenii de care am amintit, dintre care unele s-ar putea dovedi noi sau relativ noi, grele sau relativ grele pentru unii cititori. Dacă am reuși măcar să ușurăm parcurgerea acestor probleme, încă nu ne-am socoti strădania zadarnică.

II. ENERGIE ȘI ENTROPIE

Vom începe discuția cu privire la problematica creier artificial și creier uman cu prezentarea cîtorva elemente esențiale referitoare la două noțiuni fizice fundamentale: energia și entropia. Pentru marea majoritate a cititorilor, aceste două noțiuni (energia și entropia) evocă foarte probabil reprezentări și sentimente fundamental deosebite, fapt datorat, fără îndoială, „înstrăinării" diferite pe care o resimte un cititor sau altul față de aceste două noțiuni.

Într-adevăr, energia este o noțiune cotidiană, cu care, într-un fel sau altul, avem mereu a face. De aceea apare sentimentul că energia ne este ceva familiar, ceva cunoscut, precum și posibilitatea reprezentării ei concrete extrase din experiența proprie. Trebuie să precizăm însă că sfera noțiunii științifice nu se suprapune peste sfera celei cotidiene, ci prezintă destule subtilități care îngreuiază înțelegerea ei. Entropia, dimpotrivă, face parte din acea categorie de noțiuni științifice de acces restrîns, care trezește cititorului mai degrabă sentimentul dificultății abordării unui domeniu de puternică specialitate decît dorința de pătrundere și de lămurire, fie și în mare, în domeniul respectiv; de unde și efortul cerut pentru realizarea unei reprezentări adecvate. Cum însă posibilitatea unei tratări corecte și complexe a ansamblului raporturilor dintre creierul artificial și creierul uman este condiționată, printre altele, de înțelegerea și de folosirea corectă a noțiunilor de energie și entropie, lămurirea lor prealabilă constituie o necesitate.

Vom începe cu noțiunea de energie, care, după cum am mai spus, cu tot caracterul ei familiar, ridică destul de multe probleme atunci cînd se trece de la acel „ceva totdeauna necesar pentru a efectua ceva" la conturarea științifică a noțiunii, conturare care, istoricește, a cerut secole de experiență și de efort de abstractizare și de filtrare a experienței activității umane.

Esența activității umane a fost și continuă să fie activitatea de transformare a mediului — a naturii și a societății —, îndreptată spre crearea și asigurarea unor condiții propice de existență omului (ca specie, colectiv și individ), cu toate contradicțiile care s-au ivit și care și-au pus pecetea pe desfășurarea procesului istoric între condițiile necesare unui individ sau unei colectivități și cele necesare altor indivizi și colectivități sau uneori întregii specii umane. Experiența acestei activități a arătat că fiecare realizare și fiecare transformare obținută are loc cu prețul depunerii unor eforturi corespunzătoare; a arătat că nimic nu se transformă spontan într-o direcție predeterminată; a arătat că în toate transformările efectuate este necesară cheltuirea unor forme specifice de „ceva", care într-un caz este acțiunea fizică a unui om, în altul cea a unui animal, o dată acțiunea apei, iar altă dată cea a focului etc.

Procesul elaborării noțiunii științifice de energie a constat în raportarea și corelarea diferitelor forme specifice ale acelui „ceva" necesar în orice transformare, în stabilirea unor echivalențe cantitative între diferitele surse de transformare și transformările respective. Procesul acesta s-a desfășurat în paralel și s-a împletit cu lămurirea limitelor intrinseci ale transformărilor dorite și cu stabilirea condițiilor care trebuie să fie îndeplinite pentru a se obține rezultatele dorite, transformări și condiții pe care omul, potrivit naturii sale, înainte de a acționa le *prefigurează*. Într-adevăr, omul ca specie, care nu numai că *face* ceva, dar și *știe* că face ceva, a apărut în cursul procesului de transformare a naturii prin și ca urmare a acestui proces. Esența acestui „știe" este *prefigurarea în minte* a ceea ce ar urma *să apară în realitatea înconjurătoare* ca rezultat al acțiunii. Transformarea naturii și necesitățile ivite în cadrul acestei acțiuni au dus la formarea prefigurărilor-dorințe; practica și instrumentul ei, știința, au trasat și continuă să traseze hotarele ce despart dorințele-vis de dorințele realizabile. Necesitatea folosirii forțelor naturii și imensele greutăți întîmpinate în eforturile dure depuse în scopul stăpînirii acestor forțe au condus la prefigurarea-dorință a unui dispozitiv capabil să livreze încontinuu energie de la sine și din sine, a unui dispozitiv care să constituie o sursă inepuizabilă de forță și să realizeze la infinit de la sine lucru mecanic. Acest dispozitiv a căpătat denumirea de *perpetuum mobile*, adică dispozitiv care *produce veșnic mișcare*. Numeroasele încercări de realizare a unor astfel de dispozitive s-au soldat însă toate cu eșecuri. Recunoașterea oficială a constatării empirice a imposibilității realizării unui *perpetuum mobile* a fost formulată în declarația Academiei Franceze din 1775, prin care s-a hotărît să nu se mai primească pentru examinare și încercare nici un proiect de dispozitiv care „creează veșnic mișcare". Formularea în cadrul fizicii teoretice a acestei imposibilități a fost elaborată abia la jumătatea secolului următor, sub forma principiului *conservării energiei:* într-un sistem dat, izolat [1], suma energiilor la sfîrșitul unui proces este egală cu suma energiilor de la începutul procesului — fiindcă în cadrul lui nu poate avea loc decît transformarea unor forme de energie în alte forme de energie. Această afirmație poate fi formulată în mai multe moduri: primul, într-un sistem izolat pot să se desfășoare numai procesele care nu depășesc rezervele de energie ale sistemului; al doilea, pentru ca un sistem dat să livreze *spre exterior* (încontinuu) lucru mecanic, este necesar să i se livreze (încontinuu) *din afară* o cantitate echivalentă de energie; al treilea, indiferent de procesele concrete, între cantitățile de energie de diferite tipuri există raporturi constante, bine definite, adică există o mărime care rămîne constantă, sau, în termeni consacrați, o mărime care se conservă, un număr constant pentru un proces dat,

[1] Noțiunea de „izolat" trebuie să fie precizată. În realitate, nici o subparte a universului nu este *absolut* izolată de restul universului, așa că afirmația despre un sistem izolat este riguros valabilă doar cu referire la univers în ansamblu. În acest caz, afirmația devine însă, pe de o parte, lipsită de sens — totul, deoarece cuprinde totul, n-are cum fi nici izolat, nici neizolat — și, pe de altă parte, tautologică, desigur că în tot totul se păstrează. Prin urmare, prin „sistem izolat" se înțelege un sistem care este în atît de slabă conexiune cu celelalte sisteme, încît schimbul energetic înspre afară și dinspre afară este neglijabil în raport cu nivelul proceselor energetice din sistemul considerat. Odată precizat conținutul termenului „izolat", sistemul *absolut izolat* nu reprezintă decît *modelul ideal* la limită al diverselor sisteme reale, model cu care se poate lucra în deplină siguranță că rezultatele măsurătorilor din sistemul real vor corespunde valorilor deduse din model atît timp și în măsura în care condiția de izolare va fi îndeplinită.

care măsoară energia participantă la proces. Pasul hotărîtor în formularea principiului conservării energiei (primul principiu al termodinamicii) și în definirea științifică a însăși noțiunii de energie a fost tocmai acest al treilea aspect, și anume stabilirea echivalentului mecanic al energiei termice, a faptului că căldura este o formă a energiei și, ca atare, este măsurabilă mecanic. De atunci s-au descoperit și alte tipuri de energii: electrică, magnetică, luminoasă, nucleară etc., și s-a constatat că în fiecare proces intervin schimburi de energie, iar în cadrul acestora raporturile în care au loc transformările dintr-o formă în alta rămîn constante, independent de caracterul concret al transformărilor și de modul în care diferitele forme de energie intervin în proces. Tocmai în această trăsătură de „același care trece dintr-o formă în alta", același deoarece raportul cantitativ este mereu același, constă caracterul de noțiune generalizatoare a energiei. Ea desemnează o măsură a mișcării care nu se creează și nu se distruge, ci se află într-un proces continuu de trecere dintr-o formă în alta, mișcare care, ca și energia, nu există în general, ci numai concret, ca mișcare și energie a unui arc, a unei reacții chimice, a unei radiații nucleare etc. Energia, cu tot caracterul ei familiar, este o noțiune foarte abstractă.

«Dacă ați cere unui fizician să indice „o unică lege, cea mai fundamentală a fizicii", el va răspunde probabil, bombănind la adresa întrebărilor stupide, fără răspuns: „legea conservării energiei". Dacă în continuare l-ați întreba *ce este* energia, probabil că va refuza să vă răspundă. Conceptul de energie are o istorie lungă și a evoluat cu fiecare pas din dezvoltarea fizicii ... Am putea chiar să caracterizăm fiecare epocă din istoria fizicii după nivelul de dezvoltare atins de conceptul de energie. În mod asemănător, istoria cuceririi de către om a mediului înconjurător poate și ea să fie scrisă ca istoria luării în posesiune a energiei. Acest unic concept constituie, probabil, cea mai importantă punte de legătură între lumea abstractă a teoriei fizice și cea a practicii, în care omul încearcă să progreseze în mînuirea lucrurilor » [1].

Pentru fizică, principiul conservării energiei a fost și continuă să fie un principiu empiric, adică rezultat din experiență. De aceea, ori de cîte ori se ivește o situație în care ar putea apărea o îndoială în ceea ce privește valabilitatea acestui

[1] R.H. March, *Physics for Poets*, McGraw-Hill, New York, 1970, p. 67—68.

principiu, lucrurile sînt și trebuie să fie foarte atent analizate. Formulat de-a lungul multor decenii de eforturi [1], acest principiu are în prezent o forță colosală, deoarece întreaga experiență de pînă în prezent îl confirmă, iar „obiecțiile împotriva unei legi avînd un domeniu de aplicabilitate atît de vast ar trebui să se bazeze pe dovezi foarte puternice și convingătoare pentru a putea fi acceptate" [2]. Forța principiului conservării energiei, ca dealtfel, în general, forța legilor de conservare, constă în aceea că el conduce la noi descoperiri. Unul dintre exemple îl constituie descoperirea antineutrinului. În reacțiile de dezintegrare ale neutronului, instrumentele de măsură înregistrau apariția a două particule: un proton și un electron. Măsurîndu-se energia celor trei particule care participau la reacție, s-a constatat că suma energiilor particulelor care rezultau din reacție, a protonului și a electronului, era mai mică decît energia neutronului care se dezintegra. Două puteau fi explicațiile: ori legea conservării energiei nu se respectă în acest caz și, ca urmare, o parte din energie dispare, ori la reacție participă încă o particulă, care nu era sesizată în cadrul experiențelor respective și care posedă diferența de energie lipsă. Căutată, noua particulă a fost realmente găsită: neutronul se dezintegrează într-un proton, într-un electron și într-un antineutrino, iar principiul conservării energiei rămîne valabil.

Trebuie însă să subliniem că uriașul progres științific adus de formularea principiului conservării energiei, care „a devenit ... o piatră de încercare pentru întreaga știință a naturii" [3], a fost intrinsec legat de desprinderea unui înțeles bine conturat a ceea ce numim energie în sens științific, prin includerea în noțiunea științifică de energie numai a unei părți din sfera uzuală, vagă și neriguros delimitată, a noțiunii de „energie" în sensul ei cotidian. În noțiunea științifică de energie au fost incluse energia mecanică, termică, cea a unui resort, electrică, magnetică, luminoasă, nucleară etc. În afara sferei noțiunii științifice, deși incluse în sfera

[1] Istoria formulării principiului conservării energiei poate fi urmărită, de exemplu, la B.G. Kuznețov în lucrarea *De la Galilei la Einstein*, Edit. politică, București, 1966, p. 228—270, sau, pe scurt, la L.D. Landau și A.I. Kitaigorodski în lucrarea *Fizică pentru toți*, Edit. științifică, București, 1965, p. 192—195.

[2] R.E. Peierls, *Legile naturii*, Edit. științifică, București, 1963, p. 27.

[3] Max von Laue, *Istoria fizicii*, Edit. științifică, București, 1965, p. 125.

noțiunii curente, au rămas energia spirituală, energia erotică etc. Numai și cu prețul acestei delimitări au devenit posibile măsurarea și echivalarea cantitativă a diferitelor energii, formularea principiului conservării energiei, ca și a altor principii la care urmează să ne referim. Includerea „energiei spirituale" în cadrul noțiunii științifice ar fi împiedicat formularea cunoscută a principiului de conservare: este fapt știut că o persoană cu o mare energie spirituală poate „transmite" această energie unui colectiv, de exemplu, fără ca prin aceasta energia spirituală proprie să scadă, ba chiar dimpotrivă. Această remarcă poate părea banală astăzi, la mai bine de un secol de la închegarea noțiunii științifice de energie. Vom vedea însă utilitatea sublinierii acestui aspect cînd vom trece mai departe la discutarea formulării noțiunii științifice de informație. Pînă atunci ținem să subliniem că folosirea termenului de energie pentru realități profund deosebite, cum sînt, de exemplu, energia în fizică și cea spirituală, se dovedește pe deplin justificată în vorbirea curentă. Prin asemănările și evocările pe care le stabilește, aceasta din urmă deschide calea pentru formularea și comunicarea unei întregi lumi de relații umane, caracterizate tocmai prin neformalismul ei. Introduse în știință, noțiunile trebuie riguros formulate, tocmai pentru că știința urmărește să desprindă realitatea așa cum este ea în sine, independent de lumea relațiilor umane.

Nu este deloc inutil să subliniem și un alt moment legat de pasul științific a cărui schiță sumară o prezentăm: entuziasmul pentru noua noțiune, pentru principiul conservării, ca și pentru celelalte principii stabilite în legătură cu energia, a fost atît de mare, încît unii, cum ar fi marele fizician-chimist Wilhelm Ostwald, l-au transformat într-un punct central al unei concepții despre lume, „energetismul" [1]. În cadrul fizicii, energetismul a fost combătut de la bun început de fizicienii Max Planck și Ludwig Boltzmann [2], iar pe plan filozofic și ideologic el a fost analizat în contextul lui social de către V.I. Lenin în *Materialism și empiriocriticism*. Pe noi, pentru discuția ulterioară, ne interesează să reținem

[1] *Ibidem.*

[2] *Ibidem.* Max von Laue consideră dealtfel că „energetismul și-a găsit sfîrșitul, ca atîtea alte erori, pe măsură ce au murit reprezentanții ei". Ceea ce este adevărat dacă ne referim la cadrul strict al științei, după cum este adevărat că această eroare renaște în forme noi, datorită și unor cauze ideologice explicate de V.I. Lenin, și care n-au murit încă.

însă și momentul pur psihologic, tendința spontană a exagerării domeniului și a importanței unei noi și reale cuceriri științifice, precum și confuziile stîrnite ca urmare a acestor exagerări, tendință cu care ne vom întîlni și la problemele legate de informație și de creierul artificial.

Principiul conservării energiei a fost pus în evidență pentru prima oară de către medicul german R. J. Mayer într-o lucrare din 1842 privind procesele fizice și în alta din 1845 privind procesele biologice. Importanța majoră, universalitatea acestui principiu, a fost înțeleasă însă de către un alt fizician german, H. Helmholtz, care a ajuns la acest principiu, independent de R. J. Mayer, în 1845, plecînd de la niște studii în medicină [1]. Viața urmează și ea legea conservării energiei. Pentru desfășurarea proceselor denumite viață, problema surselor de energie și a balanței energetice este fundamentală, ca dealtfel și problema schimbului de substanțe și cea a păstrării echilibrului structural, ca să zicem așa a echilibrului „substanțial" al organismului. În discuția cu privire la raporturile creier uman — creier artificial, pe noi ne interesează însă în primul rînd activitatea, procesele din sistemul nervos. Or, la toate speciile și la toți indivizii s-a constatat că partea de energie care intră în joc în procesele sistemului nervos este mică în raport cu ansamblul cantităților de energie care iau parte la desfășurarea proceselor din organism [2]. Acesta este un aspect fundamental, principial al problemelor pe care urmează să le discutăm în legătură cu creierul uman și cu creierul artificial. Latura energetică, balanța energetică — fundamentală pentru ansamblul organismului „deservit" de un sistem nervos, fie el natural

[1] Max von Laue, *op. cit.*, p. 123.

[2] P. Groza și I. Hăulică, *Fiziologie*, Edit. didactică și pedagogică, București, 1966, p. 290: „O emoție puternică prezintă creșteri (ale metabolismului) de 5 pînă la 10%, efortul intelectual produce, paradoxal, creșteri de 3—4%"; E. Goetze, *Fiziopatologie*, Edit. Medicală, București, 1968, pag. 37: „Munca intelectuală influențează destul de puțin metabolismul. Astfel creierul uman are o mare nevoie de oxigen, dar, chiar în eforturile intelectuale cele mai susținute, acesta nu crește prea mult, afară de cazul cînd au loc și mari solicitări emoționale. După temperamentul fiecăruia, activitatea intelectuală se poate însoți și de alte activități, ca contracții musculare, secreție sudorală ș.a., care determină creșteri metabolice"; vezi și I. Baciu, *Cum funcționează creierul*, Edit. Dacia, Cluj, 1974, p. 125.

sau, putem adăuga de pe acum, artificial [1] — este secundară, nesemnificativă pentru procesele proprii sistemului nervos. În funcționarea creierului uman, a sistemului nervos în general, și a creierului artificial, desfășurarea proceselor energetice decurge în conformitate cu legile fizice generale ale proceselor energetice, dar ponderea lor cantitativă — deci din punct de vedere brut — este nesemnificativă în contextul proceselor energetice din organism sau din robot. Însă ponderea lor reală, rezultată din importanța pe care o au pentru asigurarea desfășurării ansamblului proceselor (inclusiv a balanței energetice!), își are originea în altă latură, specifică proceselor respective, pe care o vom denumi latura informațională. Semnificația acestei laturi nu poate fi pusă însă în adevărata ei lumină decît în context cu alte legi fizice fundamentale. De aceea, înainte de a o aborda, este necesară lămurirea și a celui de-al doilea principiu al termodinamicii, principiu de care se leagă mărimea numită entropie.

Noțiunea de entropie a apărut ca urmare a explicării unei a doua imposibilități, și anume a celei de a realiza un dispozitiv care să producă lucru mecanic, de exemplu să ridice o greutate folosind energia de la o *singură* sursă de căldură, a imposibilității, constatată experimental, de a construi un dispozitiv care „să lucreze", respectiv să producă lucru mecanic numai pe seama răcirii corpurilor din jur cu care se află în contact. Această imposibilitate de a se realiza un dispozitiv care să producă veșnic mișcare, adică să livreze încontinuu lucru mecanic pe seama energiei termice inepuizabile din jur, a fost formulată sub forma proclamării imposibilității creării unui *perpetuum mobile de speța a doua*, spre a-l deosebi de primul *perpetuum mobile*, care ar crea veșnic din nimic mișcare și care a fost denumit *perpetuum mobile de speța întîi*.

Primul principiu al termodinamicii, legea conservării energiei, arată că lucrul mecanic și căldura sînt echivalente, adică pot fi transformate dintr-una în alta; în cadrul acestor transformări, la aceleași cantități de lucru mecanic corespund totdeauna aceleași cantități de căldură și invers. Practica a arătat însă că există o deosebire esențială între transformarea lucrului mecanic în căldură și transformarea căldurii

[1] Denumim pe scurt „sistem nervos artificial" ansamblul format din dispozitivele de sesizare, din cele de transmitere a informației la și de la creierul artificial, din creierul artificial și din dispozitivele de comandă ale organelor de execuție ale unui robot.

în lucru mecanic. Și anume, practica a arătat că transformarea lucrului mecanic în căldură este totdeauna posibilă, că în *orice împrejurare* lucrurile pot fi aranjate în așa fel încît întreaga cantitate de lucru mecanic să se transforme în căldură, dar că niciodată, avînd o *singură* sursă de energie termică, nu se poate obține transformarea întregii cantități de căldură luată de la această sursă în lucru mecanic: o parte din căldura luată trebuie să fie cedată tot sub forma de căldură unui alt rezervor, aflat la o temperatură mai joasă decît primul. Cu alte cuvinte, pentru a produce lucru mecanic din căldură, orice dispozitiv, natural sau artificial, trebuie să lucreze între două surse aflate la temperaturi diferite: una mai caldă, alta mai rece. Din întreaga cantitate de căldură luată de la sursa mai caldă, o parte este transformată în lucru mecanic, iar o parte este cedată sursei mai reci. Raportul dintre cantitatea de căldură transformată în lucru mecanic și cantitatea de căldură absorbită de la sursa caldă este un număr mai mic decît unu (un număr subunitar) și definește randamentul dispozitivului, capacitatea acestuia de a transforma în lucru mecanic util o parte mai mică sau mai mare din energia absorbită. Imposibilitatea creării unui *perpetuum mobile* de speța a doua este echivalentă cu afirmația că *orice* dispozitiv lucrează cu un randament mai mic decît unu, sau că în *orice* proces de folosire a energiei unei surse sînt în principiu inevitabile pierderile prin disipare.

Într-adevăr, principiul al doilea a fost extins la toate dispozitivele, indiferent de energia cu care lucrează. Astfel extins, el implică, în fond, următoarele: pentru ca un dispozitiv să poată lucra în sensul de care vorbim, adică să folosească energia altfel decît s-o disipeze, s-o împrăștie necoordonat, el trebuie să se afle într-o situație care implică un *flux*, o scurgere de energie de la o zonă în care aceasta este mai concentrată (numită „sursă caldă") spre o zonă în care este mai puțin concentrată (numită „sursă rece"), precum și *cuplarea* dispozitivului cu *ambele* zone, cu ambele surse. Sau: nici un dispozitiv nu poate folosi *întreaga* energie pe care o ia de la o sursă fără a ceda o parte, nefolosită, unei a doua surse, indiferent de natura energiilor cu care se lucrează. Dar energia calorică păstrează un loc aparte în cadrul diferitelor forme de energie: ea este energie de agitație, energie dezordonată distribuită pe ansamblul molecular. Orice măsuri s-ar lua în cadrul diverselor dispozitive pentru evi-

tarea pierderilor de energie, potrivit principiului al doilea al termodinamicii nu se va putea evita pierderea măcar a unei părți a energiei din proces sub formă de energie dezordonată de agitație, adică sub formă de căldură cedată unei surse reci, celei mai reci surse din sistemul izolat. Acesta este motivul de fond pentru care în continuare se discută cu referire în principal la căldură. Principiile termodinamicii sînt însă valabile, cel puțin pînă astăzi, în cazul tuturor dispozitivelor, indiferent cu ce energii lucrează.

În procesul producerii lucrului mecanic suma energiilor care intră în joc este constantă (conform primului principiu, al legii conservării energiei), însă se modifică o altă caracteristică a energiei, și anume disponibilitatea acesteia pentru a putea fi transformată în lucru mecanic. Într-adevăr, *disponibilitatea* energiei de a fi transformată în lucru mecanic scade, deoarece, *în cadrul unui sistem dat, izolat*, energia cedată sub formă de căldură sursei mai reci nu mai poate fi niciodată folosită, transformată în lucru mecanic. Cum într-un sistem izolat în cadrul procesului de producere a lucrului mecanic o sursă cedează căldură, deci se răcește, iar cealaltă primește căldură, deci se încălzește, totdeauna intervine un moment în care temperaturile celor două surse se egalizează și dispozitivul se oprește. Tocmai de aceea formularea celui de-al doilea principiu a luat forma proclamării imposibilității de a crea veșnic mișcare cu o singură sursă de căldură, adică a creării unui *perpetuum mobile* de spața a doua. Într-un sistem izolat, datorită proceselor care au loc în interior, intervine totdeauna un moment în care temperaturile se egalizează și în care nu mai sînt posibile evoluții ulterioare, deoarece, în cadrul sistemului dat, întreaga energie este transformată în căldură indisponibilă pentru a fi transformată în altă formă de energie. Mărimea care caracterizează starea unui sistem izolat din punctul de vedere al disponibilităților acestuia de a evolua, sau, ceea ce este același lucru, din punctul de vedere al disponibilității energiei sistemului de a fi transformată în lucru mecanic ori în orice altă formă de energie în afară de căldură, deci mărimea care caracterizează din acest punct de vedere sistemul, a căpătat denumirea de *entropie*. Aceasta caracterizează sistemul în felul următor: entropia unui sistem crește cu creșterea acelei părți din energia termică a sistemului care devine indisponibilă pentru a fi transformată într-o altă formă de

energie. Altfel spus, un sistem este cu atît mai capabil de evoluție, cu cît entropia acestuia este mai mică.

Entropia caracterizează starea în care *se află* sistemul la echilibru, indiferent de calea parcursă de acesta pentru a ajunge în starea respectivă. Entropia reprezintă într-un anumit fel un bilanț și, ca orice bilanț, ea poate fi luată în considerare pentru un interval de timp în care evoluția sistemului este practic nulă, cu alte cuvinte pentru un sistem aflat într-o stare cvasistaționară[1]. „Din legea conservării energiei ar părea să rezulte că am avea la dispoziția noastră rezerve inepuizabile de energie. Căci în natură energia nu se pierde niciodată, după cum nici nu se creează. Dar energia, să zicem, a oceanului, energia mișcării termice a atomilor lui, este pentru noi practic inabordabilă. Pentru a organiza această energie, pentru a o dirija, pentru a o extrage în vederea folosirii ei ulterioare, este necesar să creăm o diferență de temperatură. În caz contrar, vom constata că deși energia există, de folosit nu reușim s-o folosim. Așa că între prezența energiei și disponibilitatea acesteia este o deosebire uriașă"[2].

Principiul al doilea al termodinamicii spune însă mai mult decît formularea sa la modul negativ (imposibilitatea construirii unui *perpetuum mobile* de spața a doua sau indisponibilitatea energiei unui sistem dat, izolat, de a fi integral transformată în lucru mecanic): acest principiu și noțiunea de entropie au introdus în fizică noțiunea de evoluție. El exprimă legea evoluției macrosistemelor izolate, dînd o indicație calitativă fundamentală asupra acestor procese, și anume stabilește sensul acestei evoluții: orice macrosistem izolat evoluează în sensul creșterii entropiei acestuia. Cu alte cuvinte, nici un macrosistem izolat nu revine niciodată la o stare anterioară, procesele din sistem sînt *ireversibile*. Ecuațiile mecanicii clasice, ca și ecuațiile electrodinamicii, sînt însă *simetrice* în raport cu timpul, cu variabila t; ecuațiile sînt

[1] Ideea cvasistaționarității poate fi pusă în evidență astfel. Fie evoluția stării S în timp. Pe un interval de timp suficient de mic Δt, starea S este practic constantă, fie S_1. Într-un timp t însă, care rezultă din însumarea multor Δt, sistemul trece din starea S_1 în alta S_2. Dacă trecerea este extrem de lentă, teoretic infinit de lentă, sistemul este mereu în echilibru, stările S_1, S_2, ..., S_i sînt cvasistaționare și entropia S poate fi definită ca o funcție continuă de stare.

[2] Richard Feynman, *The character of physical law* (după ediția în lb. rusă, *Harakter fiziceskih zakonov*, Izd. „Mir", Moskva, 1968, p. 127—128).

invariante în raport cu timpul, adică procesele se pot desfășura întocmai și în sens invers. Cu alte cuvinte, procesele descrise de aceste ecuații sînt reversibile. Fenomenele fizice reale sînt însă ireversibile[1], chiar dacă sînt alcătuite din procese reversibile; „suprapunerea" acestora din urmă în cadrul macrosistemelor dă o rezultantă ireversibilă, evoluția macrosistemelor este ireversibilă. Cum rezultă această ireversibilitate din procese reversibile este o problemă care pînă în prezent nu este pe deplin elucidată. Mecanica cuantică pare a deschide o cale pentru înțelegerea acestui fapt: deși ecuația de undă care descrie starea unei particule cuantice este și ea simetrică în raport cu variabila t, cu timpul, în considerarea fizică a procesului cuantic apare o puternică neechivalență între cele două sensuri ale timpului[2], neechivalență neprinsă însă în ecuația lui Schrödinger, ca urmare a faptului că ea nu este pe deplin elucidată nici fizic. Indiferent însă de modul în care se va face legătura din punctul de vedere al decurgerii proceselor între procesele care descriu comportarea — pînă în prezent aparent[3] reversibilă — a unei particule elementare, atom sau moleculă și procesele în care intervin ansambluri mari de particule, atomi și molecule, ireversibilitatea proceselor din macrosistemele izolate constituie un element esențial pentru discuția pe care o purtăm în continuare. Menționăm că, dacă un macrosistem dat nu este izolat, putem totdeauna să ajungem prin extinderea limitelor acestuia, incluzînd între ele și sistemele cu care cel considerat are interacțiuni energetice puternice, la un nou sistem, mai vast, aflat în interacțiune energetică slabă cu restul universului, deci izolat. Faptul că transformările din macrosistemele izolate sînt ireversibile nu a împiedicat și nu împiedică însă fizica să studieze intens transformările reversibile ale macrosistemelor izolate. „Transformările reversibile au loc doar în condiții idealizate; interesul lor constă însă tocmai în faptul că ele fixează limita pe care noi am putea-o atinge pentru transformările reale pe care le concepem, atunci cînd am putea face abstracție de imperfecțiunile mașinilor noastre termice"[4]. Și aici, ca în multe alte

[1] R.P. Feynman, *Fizica modernă*, vol. I, Edit. tehnică, București, 1969, p. 813.

[2] L. Landau și E. Lifchitz, *Physique statistique*, Izd. „Mir", Moskva, 1967, p. 44—45.

[3] R.P. Feynman, *op. cit.*, p. 814.

[4] P.Chambadal, *Évolution et applications du concept d'entropie*, Ed. Dunod, Paris, 1963, p. 19.

cazuri și, după cum vom vedea, acesta este și cazul creierului, studiul sistemului idealizat, realizabil mai ușor și mai sistematic, servește la stabilirea unor limite, care se arată a fi valabile cu atît mai mult și pentru sistemele reale.

În sistemele termodinamice izolate [1], procesele sînt ireversibile, deci sistemele nu revin niciodată spontan la starea inițială: într-un astfel de sistem, căldura trece *în mod spontan* de la corpul cald la cel rece. Trebuie precizat însă că trecerea are loc „în cele din urmă", deoarece pe baza creșterii entropiei dintr-o parte a sistemului izolat, temporar poate avea loc întîmplător și răcirea unui corp din sistem, o scădere temporară locală a entropiei. Pentru a realiza însă o trecere sistematică inversă a căldurii, de la un corp mai rece la unul mai cald, este necesară *acțiunea dirijată* a unui dispozitiv; acesta din urmă, pentru a putea lucra, potrivit principiului al doilea al termodinamicii trebuie să funcționeze, la rîndul lui, între o sursă caldă și una rece. O parte din energia obținută de dispozitiv de la sursa caldă este folosită pentru efectuarea *acțiunii dirijate* de trecere a căldurii de la corpul rece la corpul cald, iar o parte este cedată *ireversibil* sursei reci, în sensul că nu mai poate fi recuperată pentru a fi folosită în cadrul sistemului dat. Pe întregul ansamblu *izolat* — sursă caldă, dispozitiv, sursă rece, corp cald, corp rece — procesul este ireversibil, în cadrul ansamblului energia cedată sub formă de căldură sursei mai reci nu mai poate fi în nici un fel recuperată și folosită sub altă formă. În subansamblul *neizolat* (corp cald, dispozitiv, corp rece), procesul, și anume trecerea căldurii, se poate desfășura în sensul scăderii entropiei.

În sistemele termodinamice izolate, ansamblul proceselor este ireversibil: el se desfășoară în sensul creșterii

[1] Un sistem termodinamic tipic este un gaz închis într-un recipient. În general, un sistem termodinamic este un sistem complex compus dintr-un ansamblu suficient de mare de elemente, indiferent de natura elementelor. Dacă sistemul este constituit din elemente asemănătoare (se compune, de exemplu, dintr-o unică substanță omogenă), se spune că sistemul se compune dintr-o singură fază. Dacă sistemul este compus din elemente eterogene, dar acestea constituie subpărți omogene fiecare în sine, se spune că sistemul este constituit din atîtea faze cîte subpărți omogene conține. Ansamblul „suficient de mare" de elemente are următorul sens: numărul elementelor trebuie să fie atît de mare, încît comportările individuale să nu se reflecte asupra ansamblului decît ca *medie* a acestora; diferitele comportări ale elementelor componente se interlimitează și se compensează reciproc, rezultînd o comportare medie a ansamblului.

entropiei. Entropia unui sistem izolat constituie deci o măsură a gradului de ireversibilitate a proceselor ce s-au desfășurat în sistem. Experiența noastră zilnică ne instruiește profund în privința ireversibilității proceselor: cărămida nu se ridică niciodată singură, apa nu curge la deal, soba nu se încălzește pe seama răcirii camerei, grîul amestecat cu neghină nu se separă niciodată „de la sine" etc. etc. Cărămida însă poate să cadă „de la sine", apa curge la vale „de la sine", soba se răcește „de la sine" încălzind camera, grîul și neghina puse inițial separat într-un sac se amestecă cu timpul „de la sine". Cu toată această evidență a ireversibilității proceselor, a fost nevoie de secole de încercări neizbutite pentru a se ajunge la formula imposibilității construirii de dispozitive care să producă veșnic mișcare, într-atît de puțin sesizabilă apare într-o serie de cazuri această ireversibilitate: degradare inevitabilă a unei părți a energiei în procesul folosirii ei.

În ceea ce ne privește, în cadrul discuției pe care o purtăm cu privire la relațiile creier uman — creier artificial, reținem că procesele pot fi făcute să se desfășoare în sensul scăderii, menținerii scăzute sau încetinirii creșterii entropiei, sistematic și într-un mod anume, numai cu condiția prezenței în cadrul sistemelor a unei acțiuni *dirijate*. Or, funcția fundamentală a sistemului nervos — natural sau artificial — este tocmai *funcția de dirijare*. Prin urmare, sistemele care prezintă dirijare sînt sisteme care pot asigura local, și în fapt asigură, desfășurarea proceselor în sensul scăderii, menținerii scăzute sau încetinirii creșterii entropiei sistematic și într-un mod anume. Pe fondul general al proceselor care se desfășoară în sensul creșterii entropiei, apar unele procese locale ce se opun acestei creșteri, procese care implică o acțiune dirijată, *ipso facto* sisteme cu acțiune dirijată. În analiza raporturilor creier uman — creier artificial trebuie pornit de la această funcție fundamentală a sistemelor respective. Definirea acestor raporturi trebuie făcută, în ultimă esență, după modul în care ele răspund funcției fundamentale de dirijare. Pentru aceasta vom avea însă de parcurs un drum încă relativ lung.

Primul pas va fi o analiză mai profundă a noțiunii de entropie și de proces ireversibil. Aprofundarea principiilor termodinamicii, în particular a celui de-al doilea principiu, precum și a semnificației noțiunilor de ireversibilitate și de entropie s-a făcut în cadrul fizicii statistice pe baza teoriei

cinetice-moleculare. Pentru fizica statistică, ansamblul de elemente — în particular atomii sau moleculele constituite într-un sistem termodinamic — se disting prin aceea că posedă atît o microstare (relativ la care se ia în considerare comportarea în parte a fiecărui element din ansamblu, precum și distribuția comportărilor pe clase de asemănare), cît și o macrostare (relativ la care se ia în considerare comportarea ansamblului rezultată în urma medierii comportărilor elementelor constituente). Prin urmare, comportarea ansamblului, macrostarea, rezultă ca medie statistică a comportării individuale a elementelor constituente, *la diferite microstări putînd corespunde, prin mediere, una și aceeași macrostare.*

Mărimile (sau parametrii) care caracterizează *global* comportarea ansamblului (de exemplu temperatura, presiunea, entropia etc.) se numesc *mărimi de stare,* au sens numai cu referire la colectiv și sînt lipsite de semnificație dacă sînt raportate la unul sau la cîteva elemente constituente. Pentru a ilustra aceste idei, să considerăm un gaz închis într-un recipient (sistemul termodinamic clasic). Gazul exercită o presiune asupra pereților recipientului, *presiunea* fiind una dintre mărimile de stare care caracterizează global gazul dat. În cadrul termodinamicii clasice, presiunea este luată ca atare și se stabilesc relații care descriu comportarea acesteia cu variația altor mărimi de stare în diferite împrejurări. În cadrul teoriei cinetice-moleculare, presiunea constituie rezultatul mediat al ciocnirilor moleculelor (sau atomilor) gazului de pereții recipientului. Prin urmare, fizica statistică ia în considerare ansamblul format dintr-un număr imens de molecule (sau de atomi) aflate în agitație, care, în mișcarea lor dezordonată, ciocnesc pereții vasului, formați și ei dintr-un număr imens de atomi (spre deosebire de atomii gazului, cei ai pereților vasului sînt legați puternic unul cu altul și, ca urmare, pot executa doar mișcări oscilatorii în jurul unor poziții fixe centrale, de unde și rigiditatea acestor pereți). Rezultatul global al lovirii pereților recipientului de către atomii gazului în agitație constituie presiunea exercitată de gaz asupra recipientului, mărime care caracterizează global starea gazului. Cu referire la o moleculă (sau la cîteva molecule), presiunea nu are sens.

După cum am precizat mai sus, și *temperatura* este o mărime de stare; ea măsoară gradul de agitație al moleculelor gazului. Energia termică (căldura gazului) este suma

energiilor de agitație ale moleculelor gazului care se mișcă dezordonat, direcția, sensul și mărimea vitezei fiecărei molecule în parte nefiind coordonate cu ale celorlalte molecule. În mișcarea lor, moleculele se ciocnesc și, drept rezultat, are loc un schimb de energie, iar după ciocnire moleculele au vitezele schimbate ca direcție, sens și mărime. Cît timp însă sistemul este termic izolat, suma acestor energii rămîne constantă și reprezintă căldura sistemului. Cu cît starea de agitație a moleculelor este mai mare, cu cît viteza medie a acestora este mai mare, cu atît căldura, energia termică a gazului dat este mai mare și temperatura sa mai ridicată. Dintre două corpuri aflate la temperaturi diferite, corpul mai cald are moleculele în agitație mai puternică, iar energia medie pe moleculă este mai mare decît cea a corpului mai rece. Cînd două corpuri, unul mai cald și altul mai rece, sînt puse în contact, corpul cald se răcește, iar cel rece se încălzește, deoarece, ca rezultat al ciocnirilor dintre moleculele corpului cald și cele ale corpului rece, transferul de energie de la moleculele cu agitație mai mare spre cele cu agitație mai mică este mai mare decît transferul invers; treptat starea de agitație a moleculelor celor două corpuri se egalează (ele ajung la aceeași temperatură). Schimbarea la scară macroscopică a stării unui sistem apare ca urmare a redistribuirii la scară microscopică a energiei între elementele sistemului. Intrarea în echilibru, redistribuirea, are loc ca urmare a unui proces statistic. Pentru a *explica* direcția în care are loc această redistribuire în cazul în care macrosistemul evoluează izolat, pentru a *explica sensul evoluției proceselor din macrosistemele izolate*, va trebui să luăm în considerare noțiunea de probabilitate în general, probabilitățile stărilor microscopice și modul în care din acestea rezultă probabilitatea stării macroscopice în particular.

Discuția aceasta are o dublă semnificație pentru noi: pe de o parte, ea va permite lămurirea sensului profund al entropiei (după Max von Laue, dependența dintre entropie și probabilitate este una dintre cele mai profunde idei ale întregii fizici[1]), sens deosebit de semnificativ și pentru discuția raporturilor creier uman — creier artificial; pe de altă parte, ea va pregăti terenul pentru considerațiile cu privire la natura și măsurarea informației, precum și la legăturile acesteia cu entropia, care constituie de asemenea un moment semnificativ al discuției pe care o purtăm.

[1] Max von Laue, *Istoria fizicii*, Edit. științifică, București, 1965, p. 140.

Probabilitatea unui eveniment, notată curent cu p, este dată de un număr pozitiv cuprins între zero și unu, $0 \leqslant p \leqslant 1$, și indică, în procesul fizic concret, șansa ca în cadrul procesului respectiv să se realizeze evenimentul considerat ($p = 0$ indică lipsa oricărei șanse de realizare, evenimentul este imposibil; $p = 1$ indică certitudinea, evenimentul este sigur; $p = 0{,}8$, de exemplu, indică faptul că evenimentul are 80% șanse să se realizeze). Pentru o monedă simetrică, probabilitatea de a cădea pe o față este egală cu aceea de a cădea pe cealaltă față, deci $p_{\text{ban}} = p_{\text{stemă}} = \frac{1}{2}$ fiindcă suma acestor două probabilități *trebuie* să fie egală cu unu. Moneda, din considerente fizice evidente nu poate cădea pe muchie, deci $p_{\text{muchie}} = 0$, și va cădea sigur pe o față sau alta, deci $p_{\text{o față sau alta}} = 1$. Condiția ca suma probabilităților tuturor evenimentelor posibile dintr-un proces dat să fie egală cu 1 se numește condiția de normalizare a probabilităților. Ea are următorul sens fizic: desfășurarea procesului are loc prin realizarea uneia din posibilitățile sale — fiecare posibilitate are o probabilitate mai mică decît unu, specifică alternativei respective, dar desfășurarea procesului într-un fel sau în alt fel este sigură. Dacă se aruncă un zar de construcție simetrică, probabilitatea ca să cadă cu o anumită față în sus este 1/6, structura simetrică a zarului asigurînd șanse egale de cădere pentru fiecare dintre cele șase fețe ale lui. Suma tuturor probabilităților evenimentelor posibile este

$$p_{\text{total}} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 =$$

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \sum_{K=1}^{6} p_k = 1,$$

p_k fiind probabilitatea ca zarul să cadă cu fața k în sus semnul Σ însemnînd suma luată de la $k = 1$ la $k = 6$ și permițînd, după cum se vede, o scriere concisă a relației.

Pasul următor pe care trebuie să-l lămurim este probabilitatea unui eveniment compus sau, mai precis, modul în care rezultă probabilitatea unui eveniment compus din probabilitățile evenimentelor simple care îl compun. Un eveniment compus poate rezulta din îmbinarea evenimentelor simple constituente în două moduri esențial diferite; evident în cele două cazuri, probabilitatea evenimentului compus se calculează și ea în mod deosebit.

Într-adevăr, evenimentul compus poate rezulta fie ca *alternativă* a evenimentelor simple (evenimentul compus are loc dacă se realizează *sau* primul, *sau* al doilea, *sau* al n-lea eveniment), fie ca *suprapunere* sau *succesiune* a evenimentelor simple (evenimentul compus are loc dacă se realizează *și* primul, *și* al doilea, *și* al n-lea eveniment). Evenimentele simple pot fi *independente* între ele, adică realizarea unuia nu este influențată de realizarea celorlalte evenimente simple, și atunci ele sînt caracterizate prin probabilitățile lor de realizare necondiționate: $p(A)$, p fiind probabilitatea de realizare a evenimentului A; sau ele pot fi *dependente*, realizarea unui eveniment depinzînd de faptul dacă un alt eveniment s-a realizat sau nu, aceste evenimente fiind caracterizate *și* de probabilitățile lor condiționate: $p(B/A)$, probabilitatea de realizare a evenimentului B dacă evenimentul A a avut loc.

Pentru evenimentele care rezultă din compunerea unor evenimente independente, regulile de calculare a probabilităților sînt simple:

— probabilitatea evenimentului compus care se realizează atunci cînd se realizează măcar unul dintre evenimentele simple independente este dată de *suma* probabilităților de realizare a evenimentelor simple;

— probabilitatea evenimentului compus care se realizează numai dacă se realizează toate evenimentele simple independente care-l compun este dată de *produsul* probabilităților evenimentelor simple.

În cazul evenimentelor simple interdependente, regulile sînt mai complicate, în ele intervenind și probabilitățile condiționate, dar structura regulilor rămîne asemănătoare; realizarea ca *alternativă* duce la sumarea probabilităților, realizarea cu *suprapunere* sau *succesiune* duce la înmulțirea probabilităților.

Cîteva exemple vor fixa ideile.

Probabilitatea ca, aruncînd un zar simetric, acesta să indice un număr *par* este evenimentul compus care se realizează atunci cînd cade *sau 2*, *sau 4*, *sau 6*, deci probabilitatea evenimentului rezultat este

$$p_{\text{par}} = p_2 + p_4 + p_6 = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2}$$

Probabilitatea ca aruncînd un zar simetric, acesta să indice un număr divizibil cu 3 se obține considerînd evenimentul compus din căderea sau a numărului 3 sau a numărului 6, deci

$$p_{\text{număr divizibil cu 3}} = p_3 + p_6 = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$$

Probabilitatea evenimentului compus „să indice un număr par *și* divizibil cu trei" se obține din produsul celor două probabilități:

$$p_{\text{par și divizibil cu 3}} = p_{\text{par}} \times p_{\text{divizibil cu 3}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{6} = p_6,$$

6 fiind singurul număr par de pe zar divizibil cu 3.

Probabilitatea ca, aruncînd un zar, acesta să indice 4 *și*, aruncînd al doilea zar, al doilea să indice 6 este

$$p_4^{\text{I}} \times p_6^{\text{II}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{36},$$

unde indicii I, respectiv II, indică prima aruncare, respectiv a doua.

Probabilitatea ca, aruncînd două zaruri, acestea să indice o combinație 4—6 este evenimentul compus care rezultă *sau* din situația în care primul zar indică 4 *și* al doilea 6, sau din situația în care primul indică 6 *și* al doilea 4, deci

$$p_{4-6} = p_4^{\text{I}} \times p_6^{\text{II}} + p_6^{\text{I}} \times p_4^{\text{II}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{18}.$$

Cele spuse pînă acum se pot rezuma în felul următor:

$$p_{\text{X}} = \prod_{i} p_i$$

(cu alte cuvinte, probabilitatea evenimentului compus din realizarea fie simultană, fie succesivă a i evenimente independente este *produsul* probabilităților evenimentelor singulare: $p_1 \times p_2 \times \ldots \times p_i$, Π este semnul produsului, x semnul pentru *și*). *Deoarece toți p_i sînt mai mici decît unu, probabilitatea evenimentului compus prin suprapunere sau succesiune*

este m a i m i c ă *decît probabilitatea fiecăruia din evenimentele care-l compun;*

$$p_+ = \sum_i p_i$$

(cu alte cuvinte, probabilitatea evenimentului compus din realizarea unui eveniment dintr-o mulțime de i evenimente independente este *suma* probabilităților evenimentelor singulare:
$p_1 + p_2 + \ldots + p_i$ (Σ este semnul sumei, $+$ semnul pentru *sau*). *Evident, probabilitatea evenimentului compus ca alternativă este* **mai mare** *decît probabilitatea fiecăruia din evenimentele care-l compun.*

Să urmărim acum considerentele după care se determină probabilitatea unei microstări și, respectiv, cea a unei macrostări. Pentru a ilustra problema vom considera un sistem format din monede simetrice. Fie sistemul format dintr-o singură monedă. Probabilitățile ca, aruncînd moneda, să obținem banul, p_b, sau stema, p_s, sînt, în virtutea simetriei, egale, deci: $p_b = p_s = \frac{1}{2}$.

Într-un sistem format din două monede, probabilitatea ca la ambele monede să obținem banul este[1] $p_{bb} = {}^1p_b \times {}^2p_b = \frac{1}{4}$; la ambele stema: $p_{ss} = {}^1p_s \times {}^2p_s = \frac{1}{4}$; la o monedă stema, la cealaltă banul: $p_{bs} = {}^1p_b \times {}^2p_s + {}^1p_s \times {}^2p_b = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$. Dacă considerăm un sistem din trei monede și calculăm probabilitățile, obținem:
— la toate trei banul:

$$p_{3b} = {}^1p_b \times {}^2p_b \times {}^3p_b = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2^3} = \frac{1}{8};$$

— la două banul, la una stema:

$$p_{2b-1s} = {}^1p_b \times {}^2p_b \times {}^3p_s + {}^1p_b \times {}^2p_s \times {}^3p_b + {}^1p_s \times {}^2p_b \times {}^3p_b = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{3}{8};$$

[1] Indicii din stînga desemnează moneda aruncată, cei din dreapta fața obținută, s — stema, b — banul. Semnul x (ori) înseamnă *și*, semnul + (plus) înseamnă *sau*.

— la una banul, la două stema:

$$p_{1b-2s} = {}^1p_b \times {}^2p_s \times {}^3p_s + {}^1p_s \times {}^2p_b \times {}^3p_s + {}^1p_s \times {}^2p_s \times {}^3p_b = \frac{3}{8};$$

— la toate trei stema:

$$p_{3s} = {}^1p_s \times {}^2p_s \times {}^3p_s = \frac{1}{8}.$$

În figura 1 este arătat graficul normat la probabilitatea combinației 50 % ban și 50 % stemă al probabilităților diferitelor combinații pentru diverse valori ale lui M, unde M este numărul monedelor. Datorită normării, adică raportării probabilității fiecărei combinații la probabilitatea combinației 50 % banul și 50 % stema, toate curbele sînt aduse la aceeași amplitudine centrală.

Ce putem spune despre aceste combinații? În primul rînd, că fiecare combinație individuală (microstare: fiecare monedă are o poziție individualizată) are aceeași probabilitate, $1/2^M$,

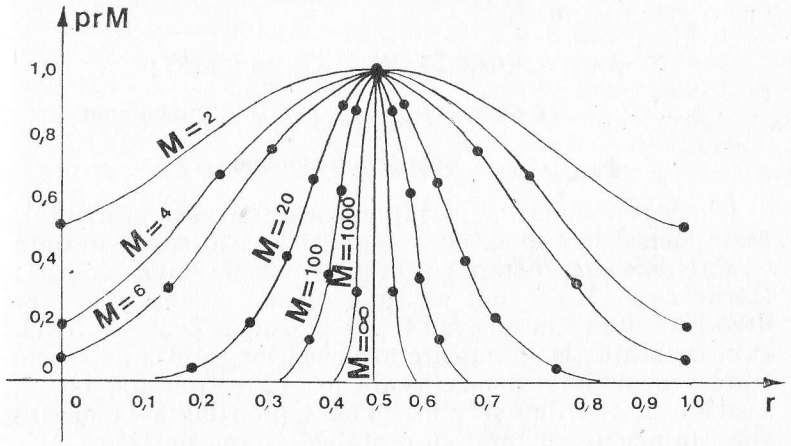


Fig. 1. — Distribuția este discretă; la valori mari ale lui M devine practic continuă. M — numărul monedelor aruncate; r — numărul de monede care indică banul raportat la numărul total de monede; p_{rM} — probabilitatea ca rM monede să indice banul, raportată la probabilitatea ca 50% din monede să indice banul.

deoarece fiecare combinație *individuală* cere ca fiecare monedă în parte să indice o anumită față; cu cît crește numărul monedelor, cu atît probabilitatea unei combinații individuale — a unei anume microstări — scade. În al doilea rînd, că, pe grupuri, diferitele combinații individuale nu pot fi deosebite macroscopic. Într-adevăr, faptul că un număr de monede indică stema iar un altul banul este, pe ansamblu, același, indiferent care *anume* monede indică banul sau stema; cu alte cuvinte, uneia și aceleiași macrostări îi corespunde un număr mai mare sau mai mic de microstări. Cum probabilitatea unei macrostări este dată de suma probabilităților microstărilor care îi corespund (deoarece una și aceeași macrostare poate fi generată de diferite microstări echivalente), *probabilitatea unei macrostări este cu atît mai mare, cu cît îi corespunde un număr mai mare de microstări.* Probabilitatea macrostării căreia îi corespunde o singură microstare — să zicem cazul cînd toate monedele indică banul, $p_{M\flat} = 1/2^M$ — este foarte mică, cu atît mai mică cu cît M este mai mare. Probabilitatea unei macrostări căreia îi corespunde o distribuție oarecum egală a monedelor (să zicem că numărul monedelor care indică banul nu este deosebit cu mai mult de 10% de cel al monedelor care indică stema) este foarte apropiată de unu, cu atît mai apropiată cu cît M, numărul monedelor, este mai mare:

$$p_{10\%,\,M=10} = 0{,}25\,;\quad p_{10\%,\,M=10^2} = 0{,}6287\,;$$

$$p_{10\%,\,M=10^3} = 0{,}9973\,;\quad P_{10\%,\,M=2{,}5\cdot 10^3} = 0{,}999999990\,;$$

$$p_{10\%,\,M=10^6} = 9999999999999999\ldots$$

Momentul hotărîtor al raționamentului este următorul: toate monedele așezate cu o *anumită* față în sus reprezintă o stare *ordonată*, o stare cu un grad înalt de ordine internă; stările care rezultă din așezarea oricum a monedelor sînt dezorganizate și au un grad foarte scăzut de ordine internă. Prin aruncarea la întîmplare a monedelor rezultă cu foarte mare probabilitate o macrostare (o macrostructură) cu un grad scăzut de ordine și cu foarte mică probabilitate o macrostare (o macrostructură) cu o ordine internă puternică.

Prin urmare, *spontan, la întîmplare, există o probabilitate foarte mică să rezulte o structură cu un grad înalt de ordine, iar probabilitatea de realizare a unei structuri dezordonate este mult mai mare decît cea de realizare a unei structuri ordonate.* Structura ordonată poate fi însă obținută prin *aranjarea* monedelor, printr-un proces *dirijat de ordonare*: este suficient ca după fiecare aruncare a unei monede să întoarcem moneda [cu fața care trebuie în sus sau, mai simplu, s-o aranjăm în felul dorit.

Cititorul neavizat ar putea întreba nedumerit ce legătură are jocul cu aruncarea și aranjarea monedelor cu termodinamica. Jocul cu moneda a fost necesar tocmai pentru a ușura cititorului neavizat înțelegerea comportării unui sistem termodinamic. Fie recipientul din figura 2, împărțit în două

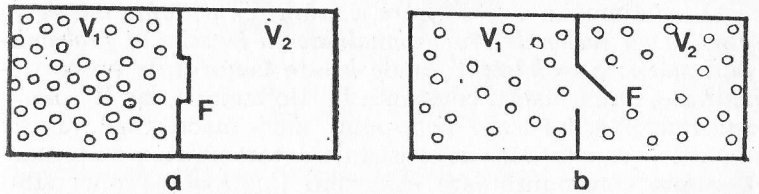


Fig. 2 — După deschiderea ferestrei F, moleculele inițial concentrate în volumul V_1 (a) se distribuie cu timpul uniform în volumele V_1 și V_2 (b).

volume egale, $V_1 = V_2$: unul, V_1, umplut cu un gaz, celălalt, V_2, vidat. Să deschidem ferăstruica F. Ce se va întîmpla? Experiența arată că, după un timp, gazul se va împărți în cele două volume în cantități în medie egale și că niciodată *de la sine* gazul nu se va aglomera din nou în volumul inițial V_1. De ce? Datorită agitației termice, moleculele gazului, în mișcarea lor dezordonată, vor nimeri din cînd în cînd prin fereastra F. Cum nu există nici o forță care să dirijeze trecerea unei molecule într-o parte sau în alta, probabilitatea ca după un timp oarecare o moleculă anumită să fie în V_1 este 1/2 și în V_2 tot 1/2. Cu alte cuvinte, dacă inițial în V_1 am fi avut o singură moleculă, după un timp oarecare aveam o șansă din două ca s-o găsim în V_1 și tot o șansă din două ca s-o găsim în V_2. Analogia cu experiența de aruncare a monedelor este evidentă. Situația inițială, toate moleculele în V_1, este echivalentă cu o situație inițială în care toate monedele ar fi aranjate, să zicem, cu banul în sus. Deschiderea ferestrei este echivalentă cu începerea aruncării monedelor. Starea care se va stabili după un timp este echivalentă cu cea care corespunde după aruncarea tuturor monedelor. În această stare, monedele sînt distribuite foarte aproape de jumătate cu o față în sus și o jumătate cu cealaltă față în sus, cu atît mai aproape cu cît numărul lor este mai mare. Cum

numărul moleculelor din, să zicem, 1 cm³ de aer la presiunea de o atmosferă este de ordinul a $2{,}6 \cdot 10^{19}$, numărul moleculelor în cele două volume, V_1 și V_2, va fi foarte apropiat de 1/2 din numărul total. Am văzut însă că macrostarea care corespunde stării finale are o probabilitate mult mai mare decît cea inițială. Prin urmare, starea care se va stabili după un timp va fi cea de probabilitate maximă. *Datorită acțiunii spontane, sistemul a trecut dintr-o stare de probabilitate mică într-o stare de probabilitate mare. Procesele spontane decurg în sensul creșterii probabilității stării sistemului.*

L. Boltzmann este cel care a arătat că *entropia este egală pînă la un factor de proporționalitate cu logaritmul probabilității stării*: $S = k \log W$, unde k este factorul de proporționalitate, numit astăzi constanta lui Boltzmann, iar W numărul microstărilor care corespund unei macrostări[1]. Toate monedele cu o față în sus constituie o stare unică, prin urmare entropia corespunzătoare este zero ($\log 1 = 0$); unei stări macroscopice cu un anumit raport al monedelor cu o față sau alta în sus îi corespunde un număr oarecare W de microstări și entropia acestei stări este mai mare, deoarece $\log W$ crește cînd W crește. În paranteză fie spus, aici analogia cu recipientul cu gaz se oprește, întrucît sistemul cu toate moleculele în V_1 nu are entropia zero, deoarece acestea pot fi distribuite (și nu numai după un singur parametru!) în numeroase feluri. Dar cum W_1 (numărul microstărilor posibile cînd toate moleculele se află în V_1) este mult mai mic, infim de mic față de W_{12} (numărul microstărilor posibile cînd moleculele sînt distribuite în volumul $V_1 + V_2$), probabilitatea primei stări este infim de mică în comparație cu probabilitatea celei de-a doua stări. Prin urmare, gazul nu se va strînge de la sine în volumul inițial, deoarece probabilitatea unei asemenea restrîngeri este atît de mică, încît fizic constituie o imposibilitate[2]; din același motiv nu vom observa niciodată trecerea spontană a căldurii de la corpul mai rece la corpul mai cald; niciodată scuturînd o cutie cu bile negre

[1] S-a considerat cazul microstărilor de egală probabilitate, de unde probabilitatea unei microstări $p_W = \frac{1}{W}$.

[2] O tratare extrem de profundă și totodată elegantă și accesibilă a sensului probabilității în general, a probabilităților extrem de mici sau extrem de mari în particular poate fi citită în Émile Borel, *Probabilité et certitude*, Press Universitaires de France, Paris, 1956 sau ediția rusă: *Veroiatnosti i dostovernosti*, Moskva, Izd. „Nauka", 1969.

și albe (fig. 3) nu vom observa rearanjarea de la sine a bilelor albe într-o parte și a celor negre în alta. Prin urmare, al doilea principiu al termodinamicii—într-un sistem izolat procesele decurg în sensul creșterii entropiei — este echivalent cu afirmația că în sistemele izolate procesele decurg

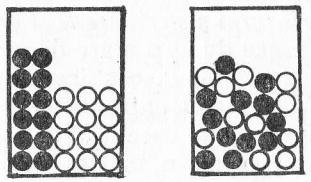


Fig. 3 — Scuturînd cutia, bilele se amestecă; niciodată nu se rearanjează spontan.

în sensul creșterii probabilității stării sistemului; odată ajuns în starea de maximă probabilitate, de maximă entropie, sistemul încetează să mai evolueze; el rămîne în această stare, denumită starea de echilibru a sistemului. Sistemele izolate evoluează spontan spre starea de echilibru.

Să analizăm însă în continuare ce semnifică faptul că o macrostare corespunde unui număr mic de microstări diferite, iar o altă macrostare corespunde unui număr mare de microstări diferite. În primul caz, macrostarea depinde puternic de modul în care sînt aranjate, ordonate elementele; în al doilea caz, aceasta depinde relativ mult mai puțin de modul de ordonare al elementelor. Toate monedele cu o față în sus constituie o stare puternic ordonată, deoarece implică o situație bine precizată pentru fiecare element în parte; o situație cu aproximativ același număr de monede cu o față în sus și cealaltă față în sus este o stare mult mai puțin ordonată, deoarece implică o situație mult mai puțin precizată pentru fiecare element în parte. Macrostările care corespund unui număr mai mic de microstări sînt stări mult mai puternic ordonate decît macrostările care corespund unui număr mai mare de microstări. Afirmația potrivit căreia în sistemele izolate procesele decurg în sensul creșterii entropiei este echivalentă cu aceea că în sistemele izolate procesele decurg în sensul dezordonării, adică în sensul dezorganizării structurii sistemului. Această afirmație constituie o aprofundare a sensului entropiei: ea nu este numai o măsură a indisponibilității energiei termice a unui sistem izolat de a

fi transformată în altă formă de energie; modul ei de variație nu indică numai caracterul ireversibil al proceselor care au loc în sistemele izolate, ci este și o măsură a probabilității stării sistemului, a gradului de ordonare sau de dezordonare a acestuia. *Sensul cel mai profund al entropiei este acesta din urmă: entropia constituie o măsură a haosului; pe măsura creșterii dezorganizării unui sistem, crește și entropia acestuia* [1].

Dacă un sistem trece de la o stare de dezordonare caracterizată printr-o entropie S_1 la o stare de dezordonare mai mare cu entropie S_2, creșterea entropiei, $S = S_2 - S_1$, constituie o măsură a dezordonării care a avut loc. Dacă vrem să caracterizăm sistemul printr-o mărime care să crească cu ordonarea (cu ordinea, nu cu haosul), putem proceda astfel: sistemul, trecînd din S_1 în S_2, a pierdut o mărime proporțională cu $S_1 - S_2 = -\Delta S$. Deci mărimea care caracterizează ordinea este egală și de semn contrar cu cea care caracterizează dezordinea. Această mărime a fost numită *negentropie* (de la *„neg*ativă *entropie"*). Prin urmare, creșterea negentropiei caracterizează creșterea ordinii din sistem, așa cum creșterea entropiei caracterizează creșterea dezordinii.

În legătură cu entropia a avut loc un proces oarecum invers decît cel pe care l-am sesizat în legătură cu energia: aceasta din urmă s-a constituit ca noțiune științifică prin decantarea, filtrarea conținutului noțiunii cotidiene; entropia s-a „născut", să zicem așa, ca noțiune științifică și, pătrunzînd încet-încet în cercuri din ce în ce mai largi, a căpătat o sferă mai cuprinzătoare. Astfel se poate spune că „entropia" unei coloane militare este mai mică decît cea a unei cozi de la un magazin, care și ea, la rîndul ei, este mai mică decît „entropia" unei mulțimi aflate într-o piață; sensul este clar, coloana este mai ordonată decît coada, coada mai ordonată decît mulțimea din piață. Procesul prin care o coloană militară aflată în marș ajunge să fie o mulțime care

[1] Teoria statistică a mai adus încă un element în plus în ceea ce privește modul de evoluție al sistemelor: variația entropiei și implicit desfășurarea proceselor în sistem nu au un caracter lin, uniform, monoton, ci se desfășoară cu fluctuații. În sistemele izolate, entropia crește cu fluctuații: oricînd se poate întîmpla ca, luînd în considerare două momente succesive în al doilea moment entropia să fie mai mică decît în cel precedent; luînd însă în considerare o succesiune de momente, entropia în cele din urmă crește. Trebuie adăugat că, din considerente statistice, amplitudinea fluctuațiilor este cu atît mai mică, cu cît sistemul este mai mare și că pentru macrosistemele de care ne ocupăm ea este cu totul și cu totul neglijabilă.

se tîrîie este procesul în care acțiunile spontane, dezorganizatoare predomină, este procesul prin care în coloana respectivă se instituie haosul; pe scurt, un astfel de proces poate fi caracterizat prin aceea că „entropia" sistemului a crescut [1].

Extinderea sferei noțiunii științifice de entropie dincolo chiar de marginile în care ea mai poate fi riguros definită a fost în cea mai mare măsură facilitată tocmai de dezvoltarea teoriei informației și a dispozitivelor numite creieri artificiali. De ce anume, vom vedea în cele ce urmează.

Să revenim deocamdată la procesele care conduc local, în subansambluri neizolate, la scăderea entropiei, la creșterea ordonării, la organizarea locală a sistemului. Acestea pot fi de două feluri: fie scăderea locală a entropiei are loc întîmplător [2], ordonarea are un caracter oarecare, fie scăderea locală a entropiei avînd un caracter sistematic, ordonarea realizată avînd o anume caracteristică (bineînțeles, în ambele cazuri scăderea locală a entropiei se face pe seama unei creșteri mai mari a entropiei sistemului izolat din care face parte subansamblul). Ca un proces să ducă local la scăderea *sistematică* a entropiei sau la *menținerea sistematică* a entropiei la un nivel dat sau, în fine, la *menținerea sistematică a ratei de creștere a entropiei într-un subansamblu mai mică decît rata de creștere a entropiei pe ansamblul sistemului izolat*, este necesar ca procesul respectiv să fie un *proces dirijat*. Numai un *sistem cu acțiune dirijată* poate realiza local, sistematic un proces de ordonare cu un caracter dat pe seama dezordonării produse în sistemul mai mare izolat din care face parte.

Sînt multe astfel de procese. Vom porni însă de la un proces imaginat — o experiență mintală — propus de Max-

[1] Dacă se definesc riguros *stările* și *probabilitățile* acestora, entropia mulțimii poate fi calculată. Să considerăm că o persoană din mulțime are *starea* definită prin orientarea feței, iar orientarea definită prin unghiul care-l face fața cu axa Nord-Sud, unghiul fiind definit cu o anumită precizie, să zicem 10°. Prin urmare, o persoană poate lua 36 de stări (360°: 10° = = 36). Stabilind probabilitățile de orientare pentru cele trei cazuri: coloană, coadă, mulțime, se poate calcula entropia celor trei stări, adică se poate *exprima cantitativ, printr-un număr, gradul de ordonare al sistemului.*

[2] Însăși apariția vieții pe Pămînt, deci a unei scăderi locale puternice a entropiei, constituie o întîmplare. În procesul de răcire a Terrei, proces care decurge în sensul creșterii entropiei, la un moment dat s-a întîmplat să se întrunească condițiile necesare care să facă posibilă apariția proprietății materiei de a se organiza în formații active, de a se constitui ca viață.

well, proces care implică acțiune dirijată *și* sistem izolat. Dacă într-un astfel de sistem lucrurile se desfășoară în sensul scăderii entropiei, cel de al doilea principiu nu este corect, iar dacă ele nu se pot desfășura astfel, cel de al doilea principiu al termodinamicii rămîne valabil, ceea ce se și întîmplă dealtfel. Analiza acestui sistem ne va conduce relativ ușor la legăturile fundamentale pe care urmărim să le punem în evidență între procesele spontane, entropie, procesele dirijate și cele informaționale.

Maxwell a propus următorul lucru: cînd deschidem ferestruica F din peretele care separă volumele V_1 și V_2, să punem de serviciu acolo și un demon (fig. 4) — vestitul demon al lui Maxwell — care să îndeplinească o anumită „slujbă" pe care s-o înceapă după ce moleculele s-au împrăștiat în medie uniform în cele două volume, adică după ce sistemul a săvîrșit evoluția sa în sensul creșterii entropiei, după ce sistemul s-a dezorganizat și a ajuns în stare de echilibru. În această situație, moleculele trec haotic prin ferestruică, astfel că în medie, într-un interval de timp dat, din V_1 în V_2 trec tot atîtea cît trec din V_2 în V_1. Deci, după ce sistemul a ajuns în stare de echilibru, demonul începe să mînuiască ferestruica. Și anume, ori de cîte ori o moleculă se apropie de fereastră ca să treacă din V_1 în V_2 închide ferestruica și, invers, dacă molecula vine astfel încît să treacă din V_2 în V_1, o lasă să treacă. După un timp, dacă demonul își îndeplinește corect serviciul, în volumul V_1 vor fi iarăși toate moleculele și în volumul V_2 va fi din nou vid. În felul acesta, sistemul revine la o stare de ordonare mai mare, adică evoluează, *izolat fiind în sensul scăderii entropiei, în sensul scăderii dezordinii*. Demonul ar putea, prin urmare,

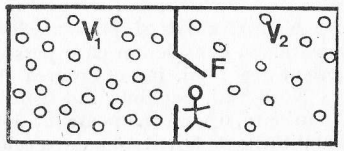


Fig. 4 — Dacă demonul lui Maxwell ar putea manevra fereastra...

dirija toate procesele în sensul scăderii entropiei. Toată problema constă în aceea dacă demonul, oricît ar fi de binevoitor și de conștient, *poate* să îndeplinească serviciul respectiv.

Să analizăm situația. Se vede că serviciul demonului este efectuarea unui proces dirijat: el trebuie să intervină în mișcarea haotică a moleculelor prin dirijarea mișcării ferestruicii de asemenea manieră încît să introducă o anumită ordine în mișcarea moleculelor. Prin urmare, scăderea sistematică a entropiei implică un proces dirijat; procesul *dirijat* implică, însă, la rîndul lui, un alt proces: pe cel *informațional*. Într-adevăr, demonul, pentru a putea *hotărî* ce are de făcut cu ferestruica, trebuie să *afle* care este viteza moleculei. Mai departe, pentru a afla viteza moleculei, el trebuie, evident, s-o măsoare, deci trebuie să *interacționeze* cu molecula. Orice interacțiune însă pe care o are cu o moleculă oarecare implică un schimb de energie cu acea moleculă, deci demonul, *aflînd* vitezele moleculelor, schimbă cu acestea diferite porții de energie și intră el însuși în stare de agitație. Pînă la urmă, el ajunge să cedeze și să primească în medie aceeași cantitate de energie, starea lui de agitație ajunge să fie aceeași cu cea a moleculelor și, ca urmare, nu mai poate deosebi moleculele cu o viteză de moleculele cu altă viteză. Chiar dacă inițial demonul, făcîndu-și serviciul, a izbutit să înceapă să separe moleculele, ulterior, datorită necesității de a se informa pentru a putea acționa, își pierde capacitatea de informare și, ca urmare, de acționare. Demonul nu-și poate face serviciul prescris. În sistemele izolate, procesele decurg în sensul creșterii entropiei, în sensul dezorganizării; procesele nu sînt reversibile.

Alta ar fi situația dacă demonul *nu ar fi izolat* și ar putea face schimb de energie cu exteriorul; el ar putea realiza procesul de informare, rămînînd în stare de repaus. Sistemul nu ar mai fi însă izolat, organizarea locală s-ar efectua printr-un proces dirijat pe seama dezorganizării produse în exteriorul sistemului.

Formațiile tipice care prezintă astfel de caracteristici sînt sistemele vii, formațiile active. Din punct de vedere termodinamic, organismul viu este constituit dintr-o fază sau un agregat de faze limitate spațial și aflate în contact cu altă fază sau mulțime de faze, care constituie mediul. Organismul este în legătură permanentă cu mediul, efectuînd un schimb continuu de substanță și de energie. Organismele nu se află niciodată în echilibru termodinamic. Însăși existența organismului ca sistem deschis (neizolat) constă tocmai în procesul prin care se menține această stare de neechilibru termodinamic, proces prin care se împiedică tre-

cerea spre starea de echilibru termodinamic, spre starea de maximă dezorganizare, spre moarte. Procesul este termodinamic posibil, deoarece sistemul organism — mediu lucrează în cele din urmă între două surse: una caldă, Soarele, de la care se ia energia, din care o parte este folosită pentru a efectua acțiunea ordonatoare, iar o parte este cedată ireversibil spațiului înconjurător, care constituie sursa rece. Local însă, prin procesele din formațiile vii, se menține starea de entropie scăzută a sistemului, o anumită structură ordonată în prezența acțiunii dezorganizatoare a mediului. Mediul ca atare constituie o sursă de acțiuni necontrolate și necoordonate asupra formației vii; procesul desfășurat de formația activă naturală este acela de a se conserva „ca atare". Să precizăm în lumina celor discutate ce înseamnă „a se păstra ca atare". Un sistem care ar fi absolut rigid, care nu ar poseda în termeni „macro" elasticitate, nu ar putea exista „ca atare"; în virtutea rigidității absolute a sistemului cea mai mică modificare ar conduce la distrugerea acestuia. Un sistem absolut rigid este cel a cărui macrostare corespunde unei singure microstări; cînd se modifică aceasta din urmă, sistemul dispare ca atare. Dacă unei macrostări a unui sistem îi corespund foarte multe microstări din numărul total al microstărilor posibile, sistemul este în echilibru. Modificările care survin în microstări nu se reflectă în macrostare și, ca atare, sistemul are o foarte slabă structură internă. Pentru formațiile vii, deși numărul microstărilor care corespund unei macrostări este imens de mare, el este foarte mic în raport cu numărul total al microstărilor pe care le poate poseda sistemul în general. Acțiunea coordonată, dirijată a formației vii constă tocmai în *dirijarea* trecerii sistemului, sub acțiunea factorilor externi, spontani și necontrolabili, spre acele microstructuri care corespund macrostructurii ca atare. Desigur, și sistemele *ne*vii prezintă, pe un timp mai scurt sau mai lung, conservarea stării „ca atare". Deosebirea dintre un sistem viu și unul neviu este că acesta din urmă rămîne „ca atare" în virtutea unei elasticități pasive, în timp ce primul manifestă elasticitate activă, adică comportare coordonată. De aceea evoluția spontană a stărilor sistemului neviu este o evoluție pe linia creșterii entropiei, iar a celui viu nu; ea este o evoluție de opunere organizată față de procesele de dezordonare. Evoluția sistemului viu, cît timp este viu, nu este o evoluție de la o stare mai puțin probabilă la una mai probabilă: un organism matur

nu este mai probabil decît același organism tînăr sau mai puțin probabil ca organismul bătrîn. O astfel de evoluție începe numai din momentul morții organismului[1]. *Cît timp formația este vie, ea are o comportare dirijată în raport cu mediul, și aceasta implică drept moment esențial interacțiunea informațională*: o acțiune coordonată cu ceva presupune o *informare* despre evoluția acelui ceva. Formațiile vii, pentru a putea exista ca atare, trebuie să desfășoare o interacțiune specifică cu mediul: interacțiunea informațională.

La formațiile vii evoluate, interacțiunea respectivă, ca și dirijarea pe ansamblu, este realizată de un organ specific: *creierul*. În dezvoltarea dispozitivelor automate realizate de om au apărut la un moment dat unități speciale care au preluat controlul schimbului de informație cu exteriorul și prelucrarea acestei informații, inclusiv elaborarea deciziilor de acționare ale automatului. De aceea aceste unități au căpătat denumirea de „creieri" artificiali. Din cele spuse rezultă că discutarea raporturilor creier uman — creier artificial cere o analiză mai amănunțită a noțiunilor de informație și proces informațional. La aceasta vom trece în capitolele următoare. Dezbaterea acestor probleme și a altora care se vor ivi va trebui făcută avînd însă mereu prezentă latura fundamentală pe care am vrut s-o punem în evidență în acest capitol: acțiunea dirijată și procesul informațional implicat de acțiunea dirijată, precum și organul specific care s-a dezvoltat ca urmare a creșterii în complexitate a acestora: creierul. Toate acestea au apărut cu necesitate din însuși modul de a fi al formației vii, mod care, aparent tautologic, poate fi definit ca „mod de a fi atașat modului propriu de a fi"; formația nevie este inertă în raport cu starea sa, formația vie se comportă activ ca să-și mențină starea: a trăi pentru a trăi.

Să rezumăm. Toate procesele implică interacțiuni energetice, schimburi de energie. În cadrul schimburilor, energiile trec unele în altele în proporții bine determinate: cantitatea totală de energie dintr-un sistem izolat se conservă.

---

[1] Al doilea principiu „constituie un decret de condamnare la moarte; el se aplică brutal în lumea neanimată, lume care este dinainte moartă. Viața face obstrucție un timp limitat acestui decret. Ea profită de faptul că decretul de condamnare la moarte este emis fără precizarea datei de punere în aplicare" (L. Brillouin, *Vie, matière et Observation*, Albin Michel, Paris, 1955, p. 32).

În cadrul proceselor, structura sistemelor suferă modificări de dezordonare sau de ordonare. Entropia, mai exact variația entropiei, constituie o măsură a dezorganizării survenite în sistem ca urmare a desfășurării proceselor. Sensul general de evoluție al sistemelor izolate este cel al creșterii entropiei, adică al trecerii de la o stare mai ordonată la una mai dezordonată. Formațiile vii sînt sistemele care reușesc să-și mențină o stare de entropie scăzută pe seama creșterii entropiei în alte zone ale sistemului din care fac parte, datorită unei comportări active, desfășurării unor procese dirijate.

Procesele dirijate implică coordonarea desfășurării procesului cu acțiunea independentă, necontrolată a factorilor exteriori. Acțiunea coordonată presupune informare și elaborare de decizii: interacțiune informațională și prelucrarea informației. La formațiile vii evoluate, aceste procese sînt efectuate de un organ specific, creierul, dezvoltat în mod cu totul specific la om.

În cadrul organizării artificiale a mediului înconjurător, omul a elaborat dispozitive cu comportare relativ independentă, automatele, roboții, prevăzute cu organe specifice de prelucrare a informației, denumite, datorită acestui fapt, creieri artificiali.

Problema raporturilor creier uman—creier artificial implică dezbaterea, printre altele, a ceea ce este comun și specific în modul de preluare și de prelucrare a informației în cadrul organismului și al automatului (robotului).

Discuția trebuie să pornească însă mereu de la faptul că procesele de informare și de prelucrare a informației au apărut cu necesitate din însuși modul de a fi al formațiilor vii; ele au apărut și se dezvoltă din însuși modul de apariție și de evoluție al viului.

III. INTERACȚIUNEA INFORMAȚIONALĂ

Schițarea în linii mari a celor cîtorva probleme esențiale referitoare la energie și la entropie ne-a dat posibilitatea să punem în evidență, pe de o parte, semnificația lor pentru stabilirea funcției fundamentale a creierului, aceea de a efectua *procesul acțiunii dirijate* prin care formația activă își menține structura sa organizată în condițiile dezorganizatoare ale mediului, și, pe de altă parte, existența în cadrul acestui proces a unei interacțiuni specifice între formația activă și mediu, anume a pasului *interacțiunii informaționale*, care face posibilă această comportare coordonată cu mediul a formației active. Demersul următor pe care trebuie să-l facem este luarea în considerare a interacțiunii informaționale, pe de o parte pentru a putea urmări mai în adîncime legătura dintre informație și entropie și, pe de alta, pentru a putea decela legăturile interacțiunii informaționale în cadrul proceselor specifice activității sistemului nervos în general și în particular a centrului de dirijare, care este creierul. Interacțiunea informațională este, în esență, fie interacțiunea dintre o formație activă și mediu, în mediu intrînd tot ceea ce este exterior formației active considerate, deci și eventuale alte formații active, fie interacțiunea internă formației active; prin aceste interacțiuni, formația activă stabilește starea mediului și cea proprie, sau, mai exact, modificările inter-

venite în starea sa și a mediului[1]. Stabilirea modificărilor care au intervenit în mediu și în propria stare constituie ceea ce am numi *momentul fizic* al interacțiunii informaționale; el nu constituie însă un scop în sine. Modificările intervenite în starea proprie și a mediului sînt interpretate în lumina experienței anterioare. Metaforic vorbind, informația obținută este distilată și integrată, formația activă obținînd o imagine a ansamblului „mediu-stare proprie", imagine care constituie o reflectare a stării reale; reflectarea nu este o simplă „înregistrare", ci o reflectare activă, prelucrată a realității. Reflectarea constituie *momentul* pe care l-am numi *cunoaștere*. Nici acesta însă, în general vorbind, nu constituie un scop în sine. Pe baza cunoașterii se face evaluarea celor întîmplate, evaluare care constituie *momentul* pe care l-am numi *pragmatic* al interacțiunii informaționale. Pasul următor este luarea deciziei asupra comportării, a unei comportări care să asigure conservarea ca atare a formației active. Pasul deciziei este urmat de cel al acțiunii, de *pasul practicii*. Acțiunea poate fi realizată direct sau mediat, prin transmiterea unei *comenzi* organului care urmează să efectueze propriu-zis acțiunea corespunzătoare comenzii. De unde se vede că transmisia de informație, de astă dată sub forma unei comenzi, intervine în desfășurarea procesului acțiunii dirijate și în pașii ulteriori elaborării deciziei. Mai mult, aflarea în interacțiune a mai multor formații active dă naștere unor acțiuni specifice de schimb de informație, unor interacțiuni informaționale în care ambii termeni sînt activi. După cum vom vedea, nici în acest caz lucrurile nu sînt principial deosebite. Efectuarea acțiunii nu încheie însă procesul: efectuarea acțiunii duce la modificări în starea de fapt atît a mediului, cît și a formației active, modificări care, la rîndul lor, constituie date noi și procesul continuă astfel în permanență, cît timp formația activă este activă. Pe scurt, procesul acțiunii dirijate, comandate este acela care asigură formației active posibilitatea conservării esenței acesteia de formație organizată în condițiile acțiunii dezorganizatoare a mediului[1]. Realizarea acestei posibilități are loc prin *închiderea în buclă* a procesului, închidere care dă naștere comportării cu finalitate.

Ajunși în acest punct, socotim necesar să facem cîteva precizări.

Prima. În raport cu procesele care au loc la formele inferioare de viață, procesul, așa cum a fost schițat mai sus, apare ca fiind complex și „antropomorfizat". Lucrul este adevărat și, în măsura în care va fi necesar temei pe care ne-am propus-o, vom aborda la timpul potrivit latura respectivă. Anticipăm însă deocamdată că aspectele principiale descrise mai sus rămîn valabile, într-un fel sau altul, la toate formațiile active.

A doua. În raport cu activitățile umane, individuale și sociale, procesul acțiunii dirijate, așa cum a fost schițat mai sus, apare foarte schematic, prinzînd în cadrul lui doar unele aspecte; acest lucru este adevărat și, în măsura în care va fi necesar temei, vom discuta și latura respectivă. Subliniem însă, pe de o parte, că aspectele menționate mai sus sînt într-adevăr aspectele principiale, ele fiind nemijlocit legate de asigurarea existenței însăși a formației care, pentru a putea realiza orice fel de alte activități, trebuie mai întîi să existe. Pe de altă parte, subliniem că între aceste aspecte există o subordonare, în sensul „care derivă din care", adică, foarte schematic spus, a fi informat pentru a exista și nu a exista pentru a fi informat etc., subordonare care

[1] Unii autori consideră informația, respectiv interacțiunea informațională, ca o proprietate generală a materiei și, drept urmare, accepția de mai sus ca fiind prea îngustă. În orice caz, pentru problematica pe care o tratăm, această „accepție (mai sau prea) îngustă" este pe deplin suficientă și, după cum credem că cititorul va observa, punctele de vedere pe care le susținem cu privire la problematica fundamentală a lucrării, raporturile creier uman — creier artificial, nu-și pierd valabilitatea, nu sînt condiționate de această așa-zisă „îngustare". Dealtfel, am remarca noi, rămîne în sarcina autorilor respectivi să demonstreze existența *în fapt* a interacțiunii informaționale în general, oriunde și oricum ar fi materia organizată, fără a opera o identificare *ilicită* (în sens de nejustificată) între interacțiunea informațională și reflectarea elementară. După noi, reflectarea elementară pasivă nu implică informație. Dealtfel, în continuare ne vom referi și la acest aspect. Socotim însă folositor de a pune de la bun început cititorul în gardă în privința diferenței de opinii existente.

[1] Unii biologi vorbesc atît de o acțiune dezorganizatoare cît și de una organizatoare a mediului (de exemplu oferă hrană, exercită presiune selectivă etc.). N-ar trebui însă ignorat faptul că mediul ca realitate fizică, dacă nu-l considerăm bineînțeles formație activă sau rezultat dirijat al activității unei formații active, „acționează" potrivit celui de-al doilea principiu al termodinamicii în sensul creșterii entropiei, în sensul dezordonării și numai local, întîmplător și trecător în sens invers. Este cu totul altceva că la acțiunea mediului formațiile active (ca biosferă, biocenoză, specie, populație sau individ) *răspund* cu comportări coordonate, organizatoare. Și că fenomenologic, la suprafață, relația dintre acțiunea mediului și organizarea viului poate *apărea* ca acțiune organizatoare a mediului.

constituie un element esențial în problematica creier uman — creier artificial.

A treia. În raport cu „activitatea" dispozitivelor artificiale, a „formațiilor active artificiale", a organelor lor centrale, a „creierilor artificiali", procesul schițat mai sus poate fi considerat ca fiindu-le propriu sau nu, ca fiind de aceeași natură sau nu cu cel din formațiile active naturale, după felul în care se consideră în concret diferiții pași și diferitele momente, după criteriile considerate esențiale în stabilirea raportului respectiv, după concepția de ansamblu adoptată; aceasta este însă însăși tema pe care ne-am propus-o și la care vom încerca să răspundem pe parcursul lucrării.

Deocamdată, pregătindu-ne să abordăm problemele privitoare la procesele informaționale și la informație, ținem să atragem atenția cititorului că informația este una dintre noțiunile cele mai familiare, cu o sferă — în acceptarea ei cotidiană — foarte puțin conturată și cu accepții pe diferite planuri și în diferite contexte, care sînt departe de a fi coordonate măcar în mare, necum riguros. Conturarea științifică a noțiunii a apărut odată cu dezvoltarea masivă a mijloacelor tehnice de comunicare în societatea umană, din necesitățile practice ale elaborării sistematice și fundamentate a acestor mijloace. Născută în acest cadru restrîns și definită într-o sferă riguroasă, noțiunea de informație și tot contextul respectiv de relații au fost imediat extinse, mai mult sau mai puțin justificat, mai mult sau mai puțin consecvent, cu mai mult sau mai puțin spirit de răspundere științifică, la domenii din ce în ce mai largi. Pozitivă în sine, această extindere a dat însă naștere la destule confuzii și implicit la critici, care, la rîndul lor, uneori nu s-au mărginit doar la critica extinderii nejustificate, ci au criticat însăși teoria informației în făgașul ei inițial, ceea ce, bineînțeles, nu a contribuit la clarificarea lucrurilor.

Rezonanța problemelor atinse a fost atît de puternică și de adîncă, încît a dus și la numeroase și interesante dezbateri pe plan filozofic. Unii au mers pe această linie chiar pînă la a vorbi de o „filozofie a informației", ceea ce pare cel puțin hazardat dacă ținem seama de experiența căderii în desuetudine a „filozofiei" substanței sau de faptul că ar fi greu de acceptat o filozofie a mișcării, a energiei etc., întrucît acestea, ca și informația, cu greu ar putea fi considerate „de sine stătătoare", ca domeniile de activități umane care au dat naștere unor discipline filozofice de ramură,

ca filozofia științei, a culturii, a istoriei etc. Alții, situîndu-se pe poziții diametral opuse, au crezut că găsesc în teoria informației o „filozofie științifică" care i-ar apăra de „metafizică", de filozofie; această deplasare de planuri nu este însă altceva decît tot o poziție filozofică, de filiație pozitivistă, îmbrăcată doar într-un înveliș aparent strălucitor, deoarece are eticheta de „științific". Precizările de mai sus au fost necesare tocmai pentru a avertiza cititorul, pentru a-l pune în gardă împotriva eventualelor confuzii, pentru a-l invita să încerce să desprindă de fiecare dată ce se înțelege exact într-un loc sau altul prin informație și prin afirmațiile referitoare la aceasta și la teoria informației[1]. Putem încerca să ajutăm cititorul, precizînd că principalele neînțelegeri apar datorită confundării a două grupe de aspecte majore referitoare la informație, și anume a acelora referitoare la *procesul de informare*, ca obținerea de informație (*informarea*) și a acelora referitoare la *starea de informare*, la informația acumulată și sintetizată (*cunoașterea*).

După cum am văzut, informația, sau legătura informațională, nu apare, după noi, decît odată cu apariția unor formații active, cu apariția vieții, adică a materiei astfel organizate, încît o parte a acesteia se delimitează în raport cu restul, se opune ca *unitate activă* acțiunii mediului înconjurător. Formația activă posedă o structură substanțială proprie, specifică, care se menține singură diferențiată în decursul interacțiunilor cu mediul printr-un *schimb dirijat de substanțe și de energie cu acesta* și prin *transformări interne dirijate ale unor substanțe*. Schimbul de substanțe, transformările acestora au loc în cadrul unor *procese energetice dirijate* de asemenea manieră, încît să asigure aportul de energie în formele și cantitățile necesare menținerii formației ca atare. Formația activă constituie un element esențialmente în *neechilibru termodinamic* cu mediul, un element care *local* se opune

[1] « Cuvinte ca „informație" sau ca „flux informațional" apar în mod frecvent în articole care se referă la subiecte ce se întind de la echipamentele de prelucrare a datelor la învățămîntul de nivel superior, de la psihologie la stocarea și manipularea de documente. Adeseori ele sînt folosite în sens metaforic, alteori servesc drept etichete convenabile pentru o masă amorfă de fenomene și de activități neriguros definite. Adeseori contextul precizează sensul care li se atribuie... Deseori contextul nu determină sensul particular al cuvîntului „informație", deoarece se referă de fiecare dată cînd este utilizat la ceva diferit, chiar în același paragraf... » (Robert A. Fairthorne, *Morphology of „Information Flow"*, în „Journal of Association for Computing Machinery", vol. 14, nr. 4, octombrie 1967).

dirijat acțiunii spontane generale de creștere a entropiei. Această încălcare locală a legii creșterii entropiei, această menținere a stării de dezechilibru în raport cu mediul, a menținerii unui *anumit* dezechilibru în raport cu mediul a unei *anumite* structurări sau organizări substanțiale și energetice, constituie însuși procesul de trăire al formației respective. A trăi înseamnă *a se menține activ ca atare*. Existența formației *este* acest proces energetic și de schimb de substanțe. Un astfel de proces nu poate exista însă decît ca un proces *coordonat* cu acțiunea mediului. Dirijarea coordonată a acestui proces, finalitatea în comportare, nu este posibilă, la rîndul ei, fără o interacțiune specifică de sesizare a modificărilor intervenite în mediu și formație, fără interacțiunea informațională[1].

Din cele spuse rezultă, prin urmare, că o condiție esențială a informației, a legăturii informaționale, condiție care nu poate fi lăsată deoparte nici în cadrul celei mai puternice abstractizări, este prezența unei formații active, *informația constituind o legătură specifică a acesteia cu mediul*. Informația este o formă particulară a interacțiunii universale, specifică formațiilor active[2]. Există însă o tendință foarte puternică de a atribui informației un caracter independent de formația activă, de a o considera ca o proprietate a existentului în general, a mediului, independent de formația activă în particular. De nelegitimitatea acestei aserțiuni și de explicarea acestei tendințe ne vom ocupa ceva mai tîrziu. Deocamdată vom sublinia doar că factic nu s-a găsit pînă în prezent o interacțiune informațională în act în lipsa a cel puțin unei formații active.

Interacțiunea informațională presupune și implică și ea, ca orice interacțiune, și o interacțiune energetică. Aspectul energetic trece însă în cadrul interacțiunii informaționale pe planul al doilea, atît din punct de vedere subiectiv, în sensul că nu numai acest aspect interesează, cît *mai ales* din punct de vedere obiectiv, în sensul că interacțiunea energetică care „poartă", ca să zicem așa, interacțiunea informațională este sub raport energetic nesemnificativă pentru formația activă: nesemnificativă în sens cantitativ, adică neglijabilă în raport cu cantitățile de energie care intră în joc în procesul fundamental de existență (fig. 5).

[1] „Sistemul viu este o unitate integrativă de substanță, energie și informație", N.P. Dubinin, *Ghenetika na paroghe dalneișih otkrîtii*, în „Kommunist", 1975, nr. 18, p. 61.

[2] În terminologia cibernetică curentă se folosește pentru formația activă termenul de *sistem dinamic complex*. Preferăm aici termenul de formație activă și pentru că este mai scurt și subliniază explicit caracterul activ al comportării sistemului.

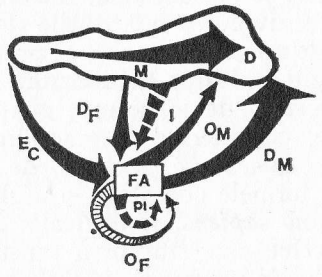


Fig. 5 — Ansamblul *mediu M — formație activă (FA)*. *D* — procesele spontane de dezorganizare din mediu; D_F — acțiunea dezorganizatoare a mediului asupra formației active; E_C — energia luată de formația activă de la mediu; D_M — acțiunea dezorganizatoare a formației active asupra mediului; O_M — acțiunea ordonatoare a formației active asupra mediului; *I* — informația obținută de formația activă din mediu; *PI* — acțiunea de prelucrare a informației; O_F — acțiunea de autoorganizare a formației active.

Într-adevăr, după cum am văzut, interacțiunea informațională a apărut ca o componentă necesară a procesului de conservare a existenței formației active ca atare, de unde necesitatea ca în cadrul acestei interacțiuni să intre în joc cantități de energie *relativ* foarte mici față de cele ce intră în procesul fundamental de existență. Specificul interacțiunii informaționale constă, printre altele, tocmai în faptul că *mînuirea unor cantități relativ mici de energie permite dirijarea unor procese care implică cantități incomparabil mai mari de energie*. Într-adevăr, funcționarea sistemelor nervoase implică cheltuieli de energie mici în cadrul balanței energetice a organismului dirijat.

Latura fundamentală a interacțiunii considerate o constituie obținerea semnificației; în cadrul interacțiunii informa-

ționale, formația activă obține o semnificație. Aceasta este purtată în *forma* procesului energetic de interacțiune informațională; nu cantitățile de energie care intervin sînt cele care contează, nu natura concretă și modul concret de interacționare contează, ci *forma* acesteia, întrucît are semnificație pentru formația activă. Nu cantitățile de energie recepționate de ochi sau de ureche contează, ci proprietățile de formă ale acestor energii: culoare, luminozitate, ton, intensitate, raporturi de amestec, de structură, spațială și temporală etc. Mai departe, considerînd interacțiunea informațională în *structura ei fundamentală, primară*, de la care au pornit și s-au dezvoltat formele complexe și mult mediate pe care le întîlnim la *Homo sapiens*, *semnificația* „căutată" și *necesară* formației active este stabilirea sensului de modificare a condițiilor mediului pentru a avea elementul necesar elaborării comportării dirijate. Antropomorfic vorbind, fundamentul interacțiunii informaționale este obținerea răspunsului la veșnica și crunta întrebare „ce se întîmplă?" cruntă deoarece „a căsca gura" la ce se întîmplă poate să însemne „pedeapsa capitală", încetarea existenței ca atare a formației active.

Esența interacțiunii informaționale constă deci în: stabilirea a ceea ce a avut loc (*recepționarea semnalului* = momentul fizic); înțelegerea, desprinderea semnificației semnalului și integrarea semnificației în ansamblul de semnificații, în ansamblul sintetic, unitar al experienței acumulate (*semnificarea semnalului* = momentul cognitiv) și decelarea consecințelor celor semnalate, a consecințelor implicate de semnal pentru formație în ansamblu (*evaluarea semnalului* = momentul pragmatic). Drept rezultat al interacțiunii informaționale, luată în sensul ei cel mai larg — preluarea *și* prelucrarea informației —, are loc trecerea la pașii următori, *decizia* și *acțiunea*. *Decizia* constituie încoronarea interacțiunii; ea o încheie și totodată o depășește, constituind puntea de legătură și de trecere de la *cunoaștere* la *practică*.

Cîteva observații. *Momentul fizic* implică o *sursă* de informație, adică o structură de la care se obține sau care emite semnalul purtător de informație, un *canal* prin care are loc transmiterea semnalului și un *receptor* care primește, recepționează semnalul. Momentele următoare — cognitiv, pragmatic — și luarea deciziei au loc *în* receptor. Desigur, și

aici procesele de prelucrare a informației au un substrat fizic, sînt „purtate" de procese energetice; și în receptor pot fi desprinse transmisii și canale prin care au loc asemenea transmisii. În cadrul însă al *acestor* momente considerate în ansamblu, în cadrul prelucrării informației, momentul transmisiei apare ca secundar, subordonat; în cadrul acestor momente, esențială este *neconservarea ca atare* a datelor inițiale, în timp ce în transmisie este esențială tocmai *conservarea ca atare* a datelor transmise. Teoria informației, cu care vom începe prezentarea problemelor relative la informație, a apărut și s-a dezvoltat ca teorie a transmisiei informației, ca teorie matematică a comunicației, avînd drept problematică centrală stabilirea condițiilor în care, în cursul *transmisiei* datelor, se asigură *conservarea* acestora.

Procesul transmiterii informației, al obținerii informației de către formația activă, în general vorbind, de la mediu, implică tripletul *sursă — canal—receptor*, în care sursa livrează informație, canalul o transmite, iar receptorul o preia (fig. 6).

Dacă, așa cum menționam mai înainte, decizia ia forma unei comenzi care se transmite unui organ executiv, nu este greu de văzut că și acest segment poate fi adus la schema de mai sus; comanda constituie informația transmisă de sursă (elaboratoarea deciziei) receptorului (organului executant) printr-o legătură oarecare care constituie canalul. Receptorul trebuie să înregistreze comanda (momentul fizic), să recunoască comanda (momentul cognitiv), să interpreteze

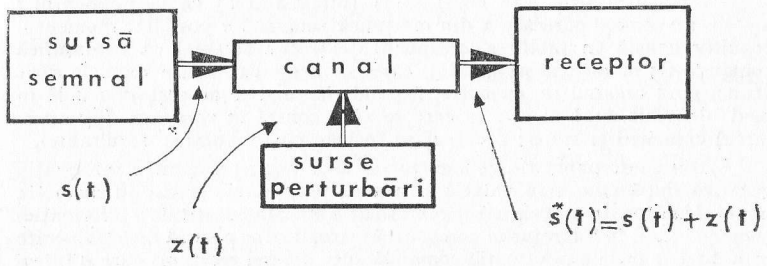


Fig. 6. — Canalul de comunicație introduce perturbări, modificări ale semnalului independente de sursa de semnal. $s(t)$ — semnalul; $z(t)$ — perturbările; $s^*(t)$ — amestecul de semnal și perturbări.

comanda (momentul pragmatic) și s-o execute[1]. Prin urmare, structura *tipică* care apare în toate procesele de transmisie a informației, recepționate sau de comandă, este cea amintită: *sursă — canal — receptor*[2].

Mai departe. Momentul *cognitiv* nu implică întotdeauna recepționarea de informație în act. Într-adevăr, desfășurarea proceselor de elaborare a cunoașterii, care este *altceva* decît suma informațiilor acumulate, poate avea loc și prin reelaborarea informației *acumulate anterior*. Procesul cognitiv se poate desprinde, într-un anumit context, într-un proces relativ independent de procesul strict informațional. Relativ, deoarece progresul său este în cele din urmă condiționat de obținerea de informație nouă. Procesul informațional, în general, și cel cognitiv, în particular, implică, prin urmare, și un proces de *acumulare* a informației și a rezultatelor obținute prin elaborarea informației; formația activă este dotată într-un chip sau altul cu ceea ce numim *memorie*[3].

Din cele expuse pînă acum se vede că, în cadrul procesului informațional, în cadrul interacțiunii informaționale, în tripletul pe care-l considerăm, sursa are o singură funcție: aceea de a livra informație potrivit cu structura sa; canalul, o singură funcție: aceea de a asigura transmiterea nealterată a informației; receptorul, un complex de funcții, dintre care cea a recepționării informației primite constituie doar prima. Receptorul este tocmai formația activă.

Teoria informației, sau, cum a denumit-o inițial Shannon, *teoria matematică a comunicației*, se ocupă de informație dintr-un singur punct de vedere, cel al *condițiilor de transmitere* a

[1] Momentul fizic este constatarea (înregistrarea) că la momentul t a sosit un semnal oarecare x din mulțimea semnalelor posibile; momentul cognitiv constă în stabilirea corespondenței (recunoașterea) că x semnifică comanda C; momentul pragmatic, care în acest caz apare explicit doar atunci cînd organul de execuție răspunde la una și aceeași comandă în mod deosebit după starea în care se află, constă în corelarea (interpretarea) comenzii și stării; procesul se încheie cu executarea rezultantei.

[2] Din acest punct de vedere, lucrul este valabil și pentru informația genetică după cum este valabil și pentru programul stocat în memoria unui calculator. În ambele cazuri, informația stocată constituie o informație-comandă care, în împrejurări corespunzătoare, devine o sursă care transmite prin diferite canale informația-comandă spre diverși receptori care o interpretează și o execută. Informația genetică merită însă o tratare separată, pe care o vom efectua mai tîrziu.

[3] Specificul informației genetice constă, după noi, tocmai în modul de constituire și de acumulare al acesteia.

acesteia. În cadrul teoriei informației are loc elaborarea unui *model fizic* al interacțiunii informaționale, precum și a unei *teorii matematice* a funcționării acestui model, model și teorie în stare să permită măsurarea *cantității* de informație care se emite, se transmite sau se recepționează. În cadrul *acestui* model se ia în considerare numai *momentul fizic* al interacțiunii informaționale, și anume modul de realizare al proceselor prin intermediul cărora un receptor stabilește *ce anume evenimente au avut loc din mulțimea evenimentelor care ar fi putut avea loc*. Semnificațiile, cognitivă și pragmatică, ale evenimentelor respective pentru receptor *nu sînt incluse în acest model*. Teoria matematică a comunicației urmărește să stabilească *cîtă informație* a fost sau, în general, poate fi transmisă într-o situație dată, *ce grad de încredere* poate acorda receptorul informației recepționate în sensul că aceasta corespunde într-adevăr celei emise și, în fine, *căile de optimizare* din acest punct de vedere a modului de comunicare.

Prima problemă constă deci în a elabora un *model fizic* și în a defini o *măsură a informației* și, în continuare, în a investiga proprietățile măsurii pentru a stabili și a verifica corespondența *teoriei matematice* cu *modelul fizic* care justifică teoria.

Modelul fizic pornește de la considerarea faptului că *prin informare se obțin date asupra rezultatului unor evenimente* oarecare, *date care nu erau cunoscute dinainte*. Esențial este faptul că datele care pot fi obținute într-o interacțiune dată constituie întotdeauna o variantă dintr-un *număr dat* de variante posibile. De exemplu, receptorul unui aparat telegrafic poate recepționa unul din cele n semne cu care se scrie textul. Fiecare semn — literă, cifră, semn de punctuație, pauză etc. — constituie o variantă posibilă. Recepționarea unui semn înseamnă înlăturarea nedeterminării: „care din semnele posibile urma să fie primit?". Informarea implică, prin urmare, ridicarea unei nedeterminări, implică constatarea că s-a realizat o alegere. Un dispozitiv de reglare a vitezei poate primi trei semnale: viteza este mai mică, viteza este egală, viteza este mai mare ca cea prescrisă. Primirea informației înseamnă înlăturarea acestei nedeterminări, stabilirea variantei care a avut realmente loc dintre cele care puteau să aibă loc. Neuronul, celula nervoasă, trece sau nu în stare de excitare, după cum excitația a depășit sau nu un anumit prag. Procesul informației constă în înlăturarea nede-

terminării, în „obținerea" uneia dintre cele două variante posibile. Un fizician care pregătește o experiență presupune un set de variante posibile ale rezultatelor, una dintre variantele posibile fiind aceea că rezultatele vor fi cu totul altele decît cele presupuse. Efectuînd experiența, fizicianul află care din variantele posibile a avut realmente loc, obținînd astfel informarea necesară prin înlăturarea nedeterminării inițiale[1].

Să arătăm acum cum se măsoară și care este unitatea de măsură a cantității de informație. Intuitiv, cantitatea de informație depinde de numărul variantelor posibile din care se face alegerea. Ieșind din sala de examinare, un student poate comunica: „am trecut" sau „am căzut", adică una din două alternative. El poate comunica însă: „nouă", ceea ce reprezintă deja mai mult, adică una din zece alternative (sistemul de notație fiind de la 1 la 10). Evident, în al doilea caz, în comunicare este mai multă informație; alegerea s-a făcut din mai multe variante. În general, prin urmare, cu cît numărul variantelor posibile este mai mare, cu atît este mai mare cantitatea de informație ce se obține prin înlăturarea nedeterminării, adică prin determinarea variantei care a avut loc. Reținem, prin urmare, un prim fapt: cantitatea de informație obținută este funcție de cantitatea de nedeterminare înlăturată, iar aceasta, la rîndul ei, depinde de *numărul* de variante posibile din care are loc alegerea[2] celei care se realizează.

Mai departe. Intuitiv, cantitatea de nedeterminare înlăturată depinde și de gradul de așteptare al receptorului de a primi tocmai varianta pe care a recepționat-o. La limită, dacă receptorul știe sigur dinainte starea care se va realiza, realizarea acesteia nu mai aduce nici o informație. Cu cît „așteptarea" este mai puțin determinată, cu cît receptorul știe dinainte mai puțin modul de alegere al variantelor transmise, cu atît nedeterminarea înlăturată este mai mare. Deoarece, așa cum am stabilit, cantitatea de informație recepționată este funcție de cantitatea de nedeterminare înlăturată, rezultă că *doi* factori determină cantitatea de informație obținută: *numărul de variante* din care se face alegerea și *măsura în care receptorul poate prevedea alegerea*. Măsura prin care receptorul prevede alegerea este exprimată de *probabilitățile* de realizare pe care le atribuie receptorul diferitelor variante posibile; deoarece aceste probabilități sînt presupuse de receptor *înaintea* realizării transmisiei, ele se numesc *probabilități apriorice*. Să ilustrăm acest aspect, continuînd exemplul cu studentul care, ieșind din sala de examinare, comunică nota „nouă" și „transmisia" este „înregistrată" de trei „receptori": *de asistent*, care, fiind prezent la examen, cunoștea rezultatul, deci pentru el „nouă" avea probabilitatea 1, era ceva sigur, ceva deja cunoscut, pentru el toate celelalte variante erau anulate ca posibilitate și, ca atare, cantitatea de informație obținută de el este nulă; *de un coleg*, care, știindu-l „student bun", se aștepta la un rezultat bun, și *de o persoană* oarecare, pentru care toate notele aveau aceeași probabilitate, deoarece nu cunoștea studentul respectiv. Intuitiv vorbind, ultima persoană capătă mai multă informație decît colegul, deoarece știa mai puțin dinainte. Subliniem că acest mod de a măsura cantitatea de informație nu este în raport nemijlocit cu *semnificația* informației recepționate. Pentru persoana prezentă întîmplător, nota reprezintă un fapt divers, în timp ce pentru colegul care urmează la examinare ea este un fapt de primă importanță: cunoscînd colegul și rezultatul, el poate „induce" starea examinatorului, parametru de primă importanță pentru acțiunea care urmează. Lucrul este corect, deoarece realizarea semnificației *transgresează* problema propriu-zisă a *transmisiei* informației; ea ține de *prelucrarea* acesteia. După cum se vede, cantitatea de informație se poate defini și deci măsura independent de semnificația ei, după cum greutatea corpurilor sau dimensiunile lor se pot defini și măsura independent de natura lor concretă. În general, considerarea din punct de vedere cantitativ a unui fenomen implică abstractizarea, adică omiterea unor aspecte calitative concrete.

Prin urmare, cantitatea de informație depinde de numărul variantelor posibile și de probabilitățile de realizare ale acestora. Să urmărim cum se ajunge la o măsură a cantității

[1] S-au ales în mod intenționat exemple în care informația are un caracter explicit discret și, prin urmare, ridicarea nedeterminării are loc dintr-un set (repertoriu) discret de variante posibile tocmai pentru a pune în relief caracterul de „obținere a unei variante dintr-o mulțime posibilă de variante". Ulterior vom arăta că situațiile în care avem semnale continue (de exemplu semnalul telefonic sau comanda de contractare transmisă unui mușchi) sînt echivalente din acest punct de vedere cu cele din exemplele aduse.

[2] „Alegere" are aici un sens metaforic.

de informație. Cum cantitatea de informație depinde de doi factori, de numărul de variante posibile și de probabilitățile de realizare a acestora, vom începe prin a stabili mai întîi dependența ei de numărul de variante posibile. Pentru aceasta vom presupune toate variantele egal probabile, ceea ce fizic semnifică faptul că receptorul nu știe apriori nimic mai mult despre o variantă decît despre alta; într-o astfel de situație toate variantele sînt la fel de probabile.

Fie deci m evenimente posibile, $s_1, s_2, \ldots, s_m, s_1, \ldots, s_m$ fiind o oarecare mulțime finită de evenimente, de exemplu simbolurile (alfabetul) pe care le poate emite sursa. Presupunînd evenimentele egal probabile, probabilitatea unui eveniment este $p = 1/m$. Un mesaj oarecare este compus dintr-un număr de asemenea evenimente elementare, în exemplul nostru simboluri. Spunem că un mesaj are lungimea n cînd este format de o succesiune oarecare de n simboluri din cele m simboluri de care dispunem. Să determinăm cîte asemenea combinații diferite de lungime n sînt în general posibile, adică să determinăm cum depinde numărul variantelor posibile de m și de n. Dacă $n = 1$, avem m variante posibile (fiecare variantă o constituie realizarea unuia din cele $s_1, s_2, \ldots, s_m$ simboluri); dacă $n = 2$, avem m^2 variante posibile (alegem un prim simbol oarecare; al doilea poate fi unul din cele m simboluri posibile, deci pentru fiecare prim simbol ales avem m variante posibile; cum prim simbol poate fi oricare din cele m simboluri, avem în total $m \times m = m^2$ variante posibile); dacă $n = 3$, potrivit aceluiași raționament, avem m^3 variante posibile. În general, dacă lungimea mesajului este n, cu m simboluri diferite putem realiza N mesaje diferite, variante posibile: $N = m^n$. Potrivit *modelului fizic* de care am vorbit, *cantitatea de informație* obținută cînd se realizează una dintre variante este funcție de numărul N de variante posibile.

Din motive tehnice, din motive matematice, dar mai ales din *considerentul intuitiv, natural,* ca un mesaj să conțină o cantitate de informație proporțională cu lungimea sa, adică cu numărul n de simboluri din care este compus, nu se ia drept măsură a cantității de informație numărul N al variantelor posibile, ci *logaritmul* acestuia (din motive de comoditate logaritmul se ia de preferință în bază 2)[1]. De unde cantitatea de informație I conținută în mesaj este

$$I = \log N = \log m^n = n \log m = n \log 1/p = -n \log p.$$

Am obținut, prin urmare, o expresie pentru cantitatea de informație. Pentru a putea obține mai departe o cifră care să exprime cantitatea de informație într-un caz concret, trebuie să alegem și o *unitate de măsură*. Drept unitate de măsură a cantității de informație s-a luat alegerea cea mai simplă posibilă, alegerea *unei posibilități din două egal probabile,* adică alegerea dintre *da și nu la fel de probabile,* adică unitatea de măsură se definește pentru $n = 1$, $m = 2$ și $p = 1/2$. Din $I = n \log m = -n \log p$ rezultă imediat în acest caz $I = 1$. Unitatea aceasta, adică alegerea între două posibilități egal probabile, a căpătat denumirea de *bit* (de la *bi*nary uni*t*", unitate binară) și a fost propusă încă în 1928 de către Hartley[2]. Dacă alegerea are loc între două variante (egal probabile), dacă se transmite o variantă din două egal probabile, se alege, se transmite un bit. Un bit este cantitatea de informație pe care o obține, în exemplul de mai înainte, *persoana oarecare* dacă studentul comunică: „am trecut" sau „am căzut". Persoana capătă doi biți dacă studentul comunică „foarte bine", deci o alegere din patru variante („foarte bine", „bine", „suficient", „insuficient", $n = 1, m = 4, I = n \log m = 1. \log 4 = 2$), și 3,32 biți dacă studentul comunică „nouă", deci o alegere din 10 posibile ($\log 10 = 3{,}32$). Dacă studentul comunică rezultatele de la mai multe examene, cantitățile respective cresc proporțional cu numărul n al examenelor, cu numărul n de alegeri. În sistemul căzut-trecut, rezultatul a cinci examene reprezintă 5 biți (1 bit pe examen), în cel cu patru notații 10 biți (2 biți pe examen), iar în cel cu 10 notații 16,60 biți (3,32 biți pe examen).

---

[1] Caracteristicile tehnice ale semnalului și implicit complexitatea și costul aparaturii depind direct proporțional de acest logaritm; matematic este mai simplu, logaritmarea reducînd gradul operațiilor; dacă mesajele transmise sînt formate din n simboluri, $I(n) = n \log m$; dacă sînt formate din $3n$ simboluri, $I(3n) = 3n \log m = 3 I(n)$, prin urmare cantitatea de informație dintr-un mesaj este proporțională cu lungimea sa (vezi pe larg în Cl. Shannon, *Rabotî po teorii informatii kibernetike,* Izd. Inostrannaia literatura, Moskva, 1963, p. 244—245).

[2] R.V.L. Hartley, *Transmission of information,* în „Bell Syst. Techn. J.", iulie 1928, p. 535.

Am stabilit, prin urmare, care este cantitatea de informație I conținută într-un mesaj format din m simboluri diferite, de probabilitate egală p și avînd o lungime de n simboluri. Cantitatea de informație purtată de un singur simbol făcînd parte dintr-un asemenea mesaj, pe scurt *cantitatea de informație pe simbol*, este $H = I/n = \log m = \log 1/p = -\log p$.

Cantitatea de informație pe simbolul care face parte dintr-un mesaj avînd structura amintită este, prin urmare, proporțională cu logaritmul numărului simbolurilor folosite sau, în virtutea probabilităților egale de realizare a simbolurilor, cu logaritmul probabilității de realizare a unui simbol.

În cazul general, receptorul posedă *dinainte* o anumită informație asupra *structurii* mesajelor pe care urmează să le primească, de unde și atribuirea unei *probabilități apriorice* p_i fiecărui simbol s_i. Să calculăm care este în acest caz cantitatea de informație conținută într-un mesaj, respectiv cantitatea de informație purtată de un simbol care face parte dintr-un astfel de mesaj, adică să stabilim măsura cantității de informație luînd în considerare, pe lîngă numărul simbolurilor m, și probabilitățile diferite de realizare a acestora, p_i.

Atît din relația stabilită înainte, cît și dealtfel intuitiv, trebuie să ne așteptăm ca realizarea unui eveniment (a unui simbol) cu probabilitate mai mică să ne aducă mai multă informație decît realizarea unui eveniment cu probabilitate mai mare (dacă $p = 1$, evenimentul este sigur; $\log p = \log 1 = 0$, nu căpătăm nici o informație). Prin urmare, într-un mesaj format din n simboluri, informația conținută în mesaj va depinde de cîte anume simboluri de un fel sau de altul se află în mesajul respectiv. Sursa emițînd multe mesaje diferite de lungime n, vom căuta să stabilim nu cantitatea de informație din fiecare mesaj, ci cantitatea *medie* de informație pe un mesaj din setul respectiv de mesaje.

Dacă contribuția unui simbol s_i din mesaj este $-\log p_i$, contribuția *medie* a simbolurilor s_i din mesaj este $-np_i \log p_i$, deoarece, pentru n suficient de mare, numărul simbolurilor s_i în mesaj se apropie de numărul lor mediu, np_i, iar contribuția totală este numărul lor mediu înmulțit cu contribuția fiecăruia. Informația *medie totală* conținută în

mesajul format din n simboluri este suma contribuțiilor medii a tuturor celor m simboluri:

$$I_{\text{mesaj}} = -np_1 \log p_1 - np_2 \log p_2 - \ldots - np_i \log p_i - \ldots$$

$$- np_m \log p_m = -\sum_{i=1}^{m} p_i \log p_i,$$

de unde imediat *informația medie pe simbol* este

$$H = \frac{I_{\text{mesaj}}}{n} = -\sum_{i=1}^{m} p_i \log p_i.$$

H a căpătat denumirea de *entropia sursei* sau a *canalului*, deoarece formal, ca *expresie matematică*, ea coincide cu expresia dedusă de Boltzmann pentru entropia termodinamică a unui sistem, entropie care, după cum știm, leagă probabilitatea macrostării unui sistem de numărul și de probabilitățile de existență ale microstărilor corespunzătoare macrostării respective[1]. Entropia termodinamică măsoară gradul de dezordonare (sau de ordonare, negentropia, ceea ce este totuna) pe care îl *are* sistemul, iar entropia informațională măsoară gradul de nedeterminare în *cunoașterea* stării sursei pe care-l anulează (sau determinarea pe care o obține, ceea ce este totuna) receptorul cînd primește un simbol de la sursă. Dar discuția despre cele două entropii, sau, mai exact, despre informație și entropie o vom purta ceva mai tîrziu. Deocamdată să menționăm o proprietate fundamentală a funcției H, anume că ea devine maximă atunci cînd probabilitățile de realizare ale diferitelor variante sînt egale: evenimentul, simbolul poartă maximum de informație atunci cînd toate evenimentele (simbolurile) din mulțimea posibilă au aceeași probabilitate de realizare. Variația informației pe simbol, a entropiei informaționale, cu variația probabilității evenimentelor este dată în figura 7 pentru cazul a două evenimente s_1 și s_2, cu probabilitățile p și q. În acest caz, $H = -(p \log p + q \log q)$, dar, cum $q = 1 - p$

[1] Entropia termodinamică a unei macrostări este dată în cazul microstructurilor egal probabile de $H = k \log W$, unde W este numărul microstărilor care corespund macrostării respective (p. 36); entropia unei surse care are m simboluri egal probabile este $H = \log m$. Identitatea formală a expresiilor este evidentă; ea se menține și în cazul cu probabilități diferite pentru diversele stări, respectiv simboluri.

(din relația $p + q = 1$, adică are loc sau s_1 sau s_2), $H = -p \log p + (1 - p) \log (1 - p)$. Din figură se vede că, dacă $p = 0$ (s_1 este imposibil, iar s_2 este sigur, $q = 1$) nu se obține nici o informație; de asemenea, dacă $p = 1$ (s_1 este sigur,

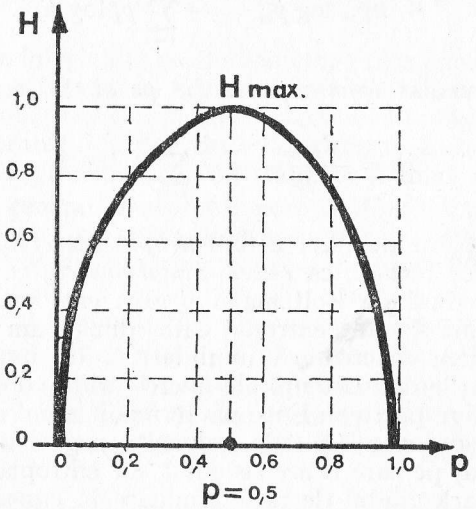


Fig. 7 — Entropia este maximă pentru probabilități de realizare egale.

s_2 este imposibil, $q = 0$), de asemenea nu se obține nici o informație. Maximum se obține cînd $p = q = 1/2$, și anume 1 bit.

Semnificația fizică a măsurii cantității de informație obținută este că ea dă numărul minim de operații (de alegeri) necesare pentru a ridica nedeterminarea. Să lămurim cele afirmate cu un exemplu. Fie un ansamblu de obiecte de lungimi diferite de la $L_{min} = 1$ mm la $L_{max} = 1\,024$ mm, din fiecare lungime avînd un număr egal de obiecte. Luînd un obiect oarecare și avînd la dispoziție niște etaloane de lungime, vom avea de efectuat un număr mai mare sau mai mic de operații (de decizii), după numărul de potriviri a etaloanelor pe care va trebui să-l întrunim pentru a determina lungimea obiectului respectiv. Informația pe care o obținem efectuînd o măsurătoare este o alegere ($n = 1$) din 1 024 posibile ($m = 1\,024$), situațiile fiind egal probabile, deoarece din fiecare L avem același număr de obiecte. De unde, conform

formulei, avem: $I = n \log m = \log 1\,024 = \log 2^{10} = 10$ biți. Să arătăm că, dacă măsurăm toate obiectele, numărul *mediu minim* de operații pe obiect (de alegeri, de decizii) este tocmai 10, dacă, bineînțeles, procedăm la măsurare potrivit căilor indicate de teoria informației. De procedat putem proceda în mai multe feluri. Putem lua un singur etalon, $E_1 = 1$ mm, și constata de cîte ori se cuprinde în lungimea obiectului. Numărul minim de operații va fi o decizie, $L = E_1$, numărul maxim 1 023, $L = 1\,023\ E_1$ [1]; deoarece fiecare lungime apare de același număr de ori, numărul mediu de decizii va fi $D_{med} = (1 + 1\,023) : 2 = 512$. Putem lua 1 023 de etaloane, de la $E_1 = 1$mm la $E_{1023} = 1\,023$ mm, și purcede la compararea fiecărui obiect cu diversele etaloane; *numărul mediu* de decizii va fi același, deoarece la unele obiecte vom nimeri din prima oară, la altele după un număr oarecare de ori, în sfîrșit la altele după ce le-am încercat pe toate. Putem lua două etaloane: $E_1 = 1$ mm și $E_2 = 1$ cm. Vom proceda astfel: stabilim în primul rînd cîți centimetri intră în lungimea obiectului. În 102 cazuri va intra un număr întreg de centimetri, de E_2, numărul mediu de decizii pentru aceste cazuri fiind $D_{2\,med} = (1 + 102) : 2 = 51{,}5$. În celelalte $1\,024 - 102 = 922$ de cazuri va mai rămîne o fracțiune, pe care o vom măsura cu E_1, numărul mediu de decizii fiind, evident, $D_{1\,med} = (1 + 9) : 2 = 5$. De unde, în aceste 922 de cazuri, la fiecare primă manevrare cu etalonul E_2 (care cere în medie 51,5 decizii) urmează o manevrare cu etalonul E_1 (care cere, în medie, 5 decizii), revenind, în medie, $51{,}5 + 5 = 56{,}5$ decizii. Mediind pe toate cele 1 024 de cazuri, obținem aproximativ 56 de decizii *în medie pe caz* [2].

Să luăm acum 10 etaloane avînd lungimile $E_1 = 1$ mm, $E_2 = 2$ mm, $E_3 = 2^2 = 4$ mm, $E_4 = 2^3 = 8$ mm, $E_5 = 2^4 = 16$ mm, $E_6 = 2^5 = 32$ mm, $E_7 = 2^6 = 64$ mm, $E_8 = 2^7 = 128$ mm, $E_9 = 2^8 = 254$ mm și $E_{10} = 2^9 = 512$ mm. Luăm un obiect, fie, pentru precizare, $L = 659$ mm. Cum procedăm? Comparăm obiectul cu E_{10}, cel mai mare etalon. Obiectul fiind mai mare decît etalonul reținem etalonul. Adăugăm la etalonul reținut pe următorul (primul care urmează în ordinea descrescîndă) și comparăm $E_{10} + E_9 = 766$ mm cu obiectul L; obiectul fiind mai mic, renunțăm la E_9 și luăm

[1] Nu 1 024; dacă am constatat că lungimea este mai mare ca 1 023, atunci ea este 1 024, cea mai mare lungime pe care o putem avea.

[2] $(51{,}5 \times 102 + (51{,}5 + 5) \times 922) : 1\,024 = 56{,}0019 \cong 56$.

următorul, E_8; comparăm $E_{10} + E_8 = 640$ mm cu L; obiectul fiind mai mare, menținem etalonul. Continuăm după schema de mai jos:

Etalonul	E_{10}	E_9	E_8	E_7	E_6	E_5	E_4	E_3	E_2	E_1
Decizii	da	nu	da	nu	nu	da	nu	nu	da	da
(Reținem:	512	0	512	0	0	640	0	0	656	658
da sau nu)			+128			+16			+2	+1
L = ?	512	512	640	640	640	656	656	656	658	659

Se vede că, oricare ar fi lungimea (cuprinsă, bineînțeles, între 1 și $1\,024 = 2^{10}$), *sînt suficiente* 10 decizii pentru a stabili valoarea acesteia, deoarece orice lungime între 1 și 1 024, definită cu precizia de o unitate, este dată de o combinație a celor 10 etaloane despre *fiecare* din acestea urmînd să fie spus în cazul concret dacă se reține sau nu. Prin urmare, 10 constituie numărul *suficient* și *necesar* de decizii [1]. Tot astfel și transmiterea unei cantități date de informație poate fi efectuată fie cu numărul *strict necesar* de simboluri, fie cu un număr *mai mare decît cel strict necesar*. În al doilea caz se spune că mesajul conține *informație redundantă*, informație care „se repetă"; mai multe alegeri decît cele strict necesare nu conțin mai multă informație, ci „repetarea" informației. Prin urmare, într-un mesaj cu mai multe *simboluri* decît cele strict necesare, cantitatea medie de informație pe simbol (entropia informațională) este mai mică decît în cel cu numărul strict necesar de simboluri. Din cele spuse rezultă imediat că eliminarea redundanței dintr-un mesaj, creșterea entropiei pe element, constituie o cale de mărire a eficienței economice a transmisiei, eliminîndu-se „repetarea" informației. Este adevărat. Trebuie însă luat în considerare și un alt aspect: calea de transmisie, canalul, nu este un dispozitiv ideal. Fiecare știe din practica de fiecare zi că, în afara semnalelor utile, în toate sistemele de comunicație sînt prezente tot felul de perturbații. Recepționarea unui simbol

[1] S-ar putea obiecta că, dacă *vedem* că obiectul este mic, începem *de-a dreptul* cu un etalon mai mic. Este adevărat, dar asta înseamnă că implicit am luat atîtea decizii cîte etaloane am eliminat doar *aparent* dintr-o dată. Alta este situația dacă ni se dă obiectul și ni se *spune* că are cam 30 mm. Pe *baza a ceea ce știm* pornim cu etalonul apropiat și ne trebuie mai puține decizii; *ceea ce știm dinainte nu constituie informație.*

înseamnă eliminarea unei incertitudini: care anume din simbolurile posibile a fost efectiv transmis. Perturbația determină din cînd în cînd o stabilire eronată a simbolului recepționat. Dacă, drept urmare a prezenței perturbărilor, receptorul nu este absolut sigur că a înregistrat simbolul corect, la receptor persistă o anumită indeterminare asupra fidelității înregistrării, ceea ce înseamnă că nu toată nedeterminarea inițială a fost înlăturată. Informația recepționată este și în acest caz tot nedeterminarea înlăturată, însă de data aceasta ea este:

nedeterminarea înlăturată = nedeterminarea inițială — (minus) nedeterminarea rămasă

Perturbațiile micșorează, prin urmare, cantitatea de informație recepționată. Dacă în mesaj a fost cuprinsă *strict* informația necesară, *orice* pierdere împiedică *în principiu* reconstituirea ulterioară a mesajului. Dacă mesajul posedă redundanță, informație „repetată", există posibilitatea refacerii mesajului chiar în condițiile pierderii, datorită perturbațiilor, a unei părți a informației transmise.

Teoria informației studiază canalele și sursele tocmai din acest punct de vedere: al adaptării canalelor și surselor pentru a realiza fidelitatea de transmisie dorită cu maximă economicitate. Mai precis, teoria informației efectuează studiul teoretic al relațiilor dintre diferitele proprietăți ale surselor și ale canalelor din punctul de vedere al structurii lor informaționale, pe baza cărora să se poată formula criterii informaționale de elaborare și de construire a mijloacelor tehnice respective [1]. După cum se vede, receptorul nu intră ca atare în sfera de preocupări a teoriei informației, deși totul se face din punctul de vedere al receptorului, și anume din cel al posibilităților acestuia de a stabili cu certitudine care anume variantă a fost transmisă, deci din punctul de vedere al posibilităților receptorului de a realiza *momentul fizic al interacțiunii informaționale.*

Să începem cu canalul de transmitere a informației. Canalul este constituit dintr-un mediu fizic, care, în virtutea

[1] Așa s-a constituit și astfel *este* folosită teoria informației. Ca și multe alte domenii preluată de matematicieni, teoria informației s-a constituit într-o disciplină matematică de sine stătătoare, cu multe și extrem de interesante implicații în alte domenii, dar în cadrul temei pe care am abordat-o acest aspect nu ne interesează.

structurii sale fizice, impune anumite *limite* semnalelor a căror transmisie o asigură. Principalele limite sînt: numărul diferit de stări pe care le poate lua canalul, deci numărul de simboluri distincte care pot fi transmise prin canal și viteza de transmitere a acestor simboluri, determinată de timpul minim necesar canalului de a trece dintr-o stare în alta, deci de a trece de la reprezentarea unui simbol la a altuia [1]. Dacă notăm cu m numărul stărilor diferite pe care le poate lua canalul, cu V viteza maximă de comutare, adică numărul maxim de simboluri posibil de transmis în unitatea de timp, și T timpul în care este folosit canalul, atunci informația maximă transmisibilă prin canal într-un timp T este dată de un volum (fig. 8), $H \times V \times T$, unde H este informația (numărul de biți) pe simbol, entropia informațională, și depinde, dăpă cum am văzut, de m și de probabilitățile de realizare ale diferitelor simboluri. Deoarece căutăm să determinăm volumul *maxim posibil*, considerăm cazul probabilităților egale, pentru care H este maxim. Mai departe, canalul realizează o anumită transformare a semnanlui $S(t)$ de la *i*ntrare într-un semnal $S^*(t)$ de la ieșire. Pentru un canal ideal $S^*(t) = S(t)$; în canalul real apar perturbări (fig. 6), numite zgomotul canalului și notate cu

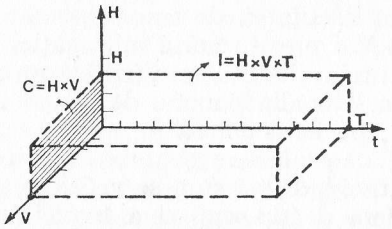


Fig. 8 — Volumul informației $I = H \times V \times T$ biți/. Capacitatea canalului $C = H \times V$ biți/s. H — biți/simbol; V — simboluri/secundă; T — secunde.

$Z(t)$. Ca atare, $S^*(t) = S(t) + Z(t)$, $S^*(t)$ fiind deci un amestec care poate fi separat numai în anumite condiții. Teoria informației studiază canalele din punctul de vedere al adaptării acestora la sursele de semnal și din cel al condițiilor

[1] Sau mărimea legată direct de viteza de comutare a canalului, banda de frecvență a acestuia.

necesare receptorului pentru a identifica, a separa pe $S(t)$ din amestecul $S^*(t)$.

Să considerăm prima problemă, cea a adaptării. Se vede imediat că un canal dat are o anumită capacitate de transmisie, C; în unitatea de timp, el poate transmite în condiții ideale maximum $C = H \times V$ biți pe secundă. Prima con-

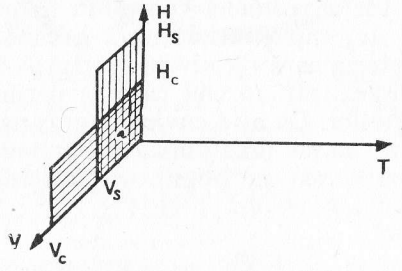


Fig. 9 — Debitul sursei = $H_s \times V_s$ și capacitatea canalului = $H_c \times V_c$.

diție a posibilității transmisiei este ca debitul sursei, numărul de biți pe secundă pe care-l produce sursa, să fie *mai mic* sau *cel mult egal* cu numărul de biți pe secundă pe care-l poate transmite canalul. Astfel spus, rezultatul poate părea banal; evident că într-un vagon de cale ferată nu poate fi transportat mai mult decît capacitatea acestuia. Dar, dacă debitul sursei rezultă dintr-un produs de H_s biți pe simbol și V_s simboluri pe secundă (fig. 9), iar capacitatea canalului rezultă dintr-un alt produs $C = H_c \times V_c$, astfel că, deși produsele sînt egale, H_c este diferit de H_s, respectiv V_c de V_s, se vede că, fără o operație de „împachetare" corespunzătoare, capacitatea canalului nu ar putea fi folosită. Teoria informației studiază modurile de „împachetare" — codificarea informației, codurile — din punctul de vedere al adaptării canalului la sursă. Dacă ne reamintim că sursa poate avea redundanță, mai puțină informație pe simbol decît cea maxim posibilă în cadrul structurii date a mesajelor, operația codificării adaptate constă din două etape: prima reducerea „suprafeței" care reprezintă sursa la „suprafața minimă necesară", deci eliminarea redundanței, și a doua transformarea „suprafeței" astfel ca ea să se potrivească cu suprafața care reprezintă capacitatea canalului.

A doua problemă apare în legătură cu luarea în considerare a canalului real, a perturbațiilor canalului. Am văzut că, la recepție, în loc de $S(t)$ apare $S^*(t)$, un semnal modificat, perturbat. Poate cel mai important rezultat al teoriei informației constă dintr-o teoremă a lui Shannon care demonstrează că printr-o codificare convenabilă se poate asigura o *transmisie sigură pe un canal cu perturbații, pe un canal nesigur*. Ideea teoremei constă în demonstrarea faptului că, dacă din capacitatea ideală a canalului se scade o capacitate determinată de nivelul perturbărilor din canal, atunci poate fi realizat un cod care să permită detectarea și corectarea erorilor. Cu alte cuvinte, un canal poate transmite sigur [1] informația unei surse al cărei debit este mai mic sau egal cu o mărime numită *capacitatea canalului cu zgomot*, mărime care rezultă astfel:

$$C_{\substack{\text{canal cu}\\ \text{zgomot}}} = C_{\substack{\text{canal}\\ \text{ideal}}} - C_{\substack{\text{capacitate necesară pentru}\\ \text{detectarea și corectarea erorilor}}}.$$

Marea majoritate a lucrărilor de teorie a informației se referă într-un fel sau altul la elaborarea de coduri optime, coduri care să permită „împachetarea" corespunzătoare a informației și să fie totodată realizabile convenabil, tehnic și economic [2].

Problemele referitoare la canalul de transmisie sînt însă cele în cadrul cărora distincțiile privind creierul uman și cel artificial sînt cele mai puțin semnificative. Să ne îndreptăm deci atenția spre sursa de informație.

Desprinzînd în continuare nu numai formația activă de mediu, ci și sursa ca parte distinctă a mediului, interacțiunea informațională de care ne ocupăm poate fi reprezentată simbolic ca în figura 10, unde sînt puse în evidență și procesele energetice care însoțesc în mod obligatoriu interacțiunea informațională, și anume acțiunile dezordonatoare datorate procesului de informare (asupra sursei D_{SI}, mediului D_{MI}, for-

[1] „Sigur" semnifică „cu o eroare oricît de mică, dinainte dată", realizabilă dacă se alege un cod potrivit.

[2] Schițarea problemelor teoriei informației s-a făcut referitor la informația și, respectiv, la semnalele cu caracter discret. Pentru informația cu structură continuă (de exemplu semnalul telefonic), lucrurile se prezintă în principiu la fel. Dealtfel se demonstrează că orice semnal real cu structură continuă poate fi reprezentat printr-un semnal cu structură discretă, informațional echivalent (prin eșantionare, potrivit teoremei lui Kotelnikov, și prin cuantificare cu pas corespunzător nivelului zgomotului).

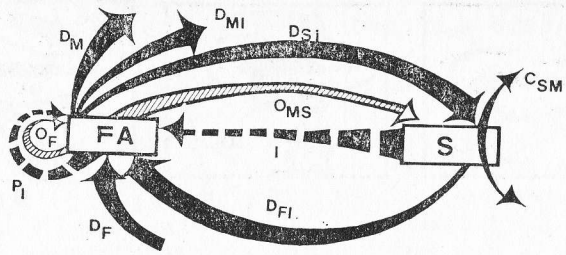


Fig. 10. — Detalierea interacțiunilor *formație activă (FA) — sursă de informație (S)*. D_{SI}, D_{MI}, D_{FI} — acțiunile dezordonatoare datorate procesului de informare asupra sursei, mediului și formației active; O_{MS} — acțiunea organizatoare a formației active asupra sursei; D_M, D_F — interacțiunile formației active cu mediul; C_{SM} — complexul de interacțiuni sursă-mediu; O_F — acțiunea de autoorganizare a formației active; P_I — acțiunea de prelucrare a informației; I — informația.

mației active D_{FI}), precum și eventuala acțiune organizatoare a formației active asupra sursei O_{MS}. Sursa poate fi, la rîndul ei, o formație pasivă sau o formație activă, în sensul pe care l-am precizat încă în capitolul precedent.

Să considerăm pentru moment sursele pasive. Problema pe care ne propunem s-o luăm în considerare este legătura dintre entropia termodinamică a sursei și entropia informațională pe care o obține formația activă de la sursa respectivă. Problema se pune astfel: a) este posibil ca, folosind entropia informațională, să se realizeze pe ansamblul unui sistem izolat o scădere a entropiei termodinamice a sistemului, cu alte cuvinte să se infirme cel de al doilea principiu al termodinamicii? b) dacă nu se poate (și vom vedea că nu se poate), care sînt raporturile dintre cele două entropii?

Cu primul aspect ne-am întîlnit cînd am considerat demonul lui Maxwell. Într-adevăr, Maxwell a presupus că, dacă sistemului izolat din figura 11 *a* i se adaugă o formație activă, un demon (fig. 11 *b*), pe seama informației I se poate realiza o acțiune organizatoare O care să compenseze acțiunea spontană de dezorganizare D, astfel că, dacă $O > D$ (O este mai mare ca D), entropia sistemului pe ansamblu scade. Obiecția fundamentală adusă schemei lui Maxwell este ilustrată în fig. 11 *c*; situația din figura 11 *b* poate avea loc *astfel* numai dacă formația activă — demonul — este *duh*, nu realitate fizică. Dacă este realitate fizică, interacțiunea

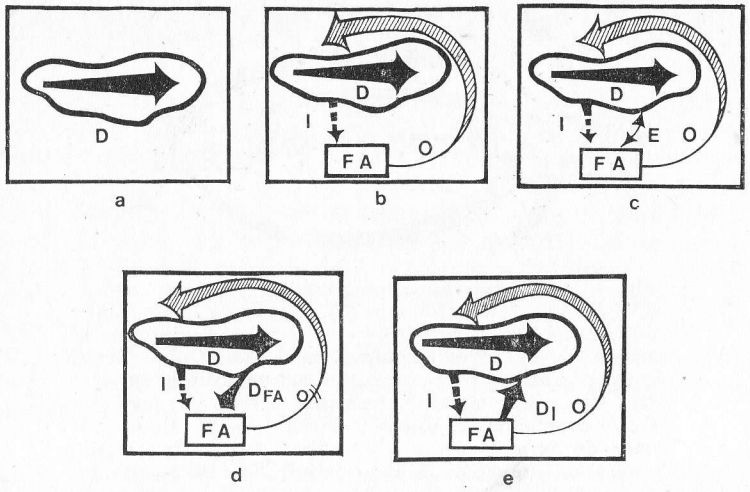


Fig. 11 — Sistem izolat, proces spontan — dezordinea D crește deci entropia crește (*a*). Sistem izolat cu demon (FA); pe seama informației I se realizează ordonarea O; poate fi ordonarea mai mare ca dezordonarea? (*b*) Interacțiunea informațională I implică interacțiune energetică E(*c*). Dacă formația activă FA are dimensiuni microscopice, dezorganizarea formației active D_{FA} împiedică acțiunea ordonatoare (*d*). Dacă formația activă FA are dimensiuni macroscopice, pentru a obține informația I aceasta cheltuiește mai mult lucru mecanic D_I decît recuperează prin acțiunea ordonatoare, entropia sistemului crește (*e*).

informațională I este dublată de o interacțiune energetică E. Detalierea obiecției, despre care s-a vorbit mai pe larg în capitolul precedent, este ilustrată în figura 11 *d*: pentru a se informa, demonul interacționează cu fiecare moleculă în parte; pentru a interacționa la nivel molecular, demonul trebuie să aibă dimensiuni moleculare; în aceste condiții ia naștere acțiunea dezorganizatoare a sistemului asupra formației active; în cele din urmă, sub acțiunea D_{FA}, formația activă devine dezordonată, dispare acțiunea O și acțiunea dezordonatoare D predomină, deci entropia ansamblului crește.

Szillard [1] a pus altfel problema (situația este ilustrată în fig. 11 *e*). Fie formația activă FA un *sistem macroscopic dotat cu o sursă de lucru mecanic*, pe baza căreia efectuează acțiunea informațională I care îi permite acțiunea

[1] L. Szillard, în „*Zeitschrift für Physik*", an. 53, (1929), p. 840.

organizatoare O. Pentru a obține I, FA cheltuiește lucru mecanic, acționînd cu D_I asupra sistemului și dezorganizîndu-l. Toată problema constă în a stabili dacă suma $D + D_I$ este, simbolic vorbind, mai mare sau mai mică decît O, adică decît energia pe care o obține formația activă prin acțiunea ordonatoare. Calculele arată că acțiunea ordonatoare O, prin care formația activă obține energie, este totdeauna mai mică decît $D + D_I$; prin organizarea pe care o introduce în sistem, formația activă nu poate recupera toată energia pe care o consumă pentru a se informa. Dar, dacă $D + D_I > O$, procesele dezorganizatoare sînt mai mari ca organizarea introdusă și entropia sistemului pe ansamblu crește. Prin urmare, prima subproblemă este rezolvată: principiul al doilea al termodinamicii este valabil în toate sistemele izolate, inclusiv în cele în care acționează formații active care desfășoară procese informaționale. Încălcarea lui este posibilă doar *local*: scăderea locală a entropiei termodinamice, ordonarea locală, se face pe seama unei creșteri mai mari a entropiei pe ansamblul izolat, pe seama dezorganizării mai puternice a altor zone ale ansamblului. (Încălzirea unei încăperi în raport cu mediul exterior, deci scăderea locală a entropiei, are loc, de exemplu, pe seama arderii cărbunilor sau lemnului, care au structuri mult mai ordonate, entropie mult mai scăzută decît cenușa și gazele care rezultă ca produse ale arderii.)

Brillouin [1] a mers mai departe și a arătat că, în condiții la limită, ideale, există un echivalent între entropia informațională care se obține într-un proces și creșterea entropiei termodinamice pe care o determină acest proces: măsurate în unități echivalente, ele sînt egale. De aici rezultă trei concluzii. Prima: confirmarea pe o altă cale a celui de-al doilea principiu al termodinamicii. A doua: stabilirea unei limite a puterii de măsurare; dacă pentru fiecare unitate de informație sîntem nevoiți să dezorganizăm mediul cu o porție minimă, este evident că măsurarea din ce în ce mai rafinată, deci cu din ce în ce mai mulți biți, implică o dezorganizare din ce în ce mai mare și la un moment dat măsurarea nu mai este posibilă. Limita informațională sau entropică este însă cu patru ordine de mărime mai departe, mai mică, decît limita pe care o pun relațiile de nedeterminare din

[1] L. Brillouin, *Science and information theory*, Academic Press, New York, 1956.

mecanica cuantică, așa încît semnificația teoretică și practică a acestei limite este foarte redusă. A treia: afirmarea unei echivalențe generale între entropia termodinamică și cea informațională (Brillouin o afirmă explicit doar pentru sursele pasive; alții, de exemplu Gluşkov, o extind la întreaga realitate) [1]. Această a treia afirmație nu este, după noi, corectă, ea rezultînd dintr-o suprapunere necoordonată de planuri și puncte de vedere. Oricît ar apărea de aridă problema, ea se reduce de fapt la a răspunde dacă informația, interacțiunea informațională, este caracteristică *întregului* existent sau constituie o interacțiune *specifică unei anumite părți* a existentului, o interacțiune specifică formațiilor active, și, dacă este o interacțiune specifică, care este legătura dintre structura proprie sursei, existentului, independent de formația activă, și structura, conținutul interacțiunii informaționale dintre sursă și formația activă.

Să urmărim mai îndeaproape procesul informațional. Fie un receptor care să informeze asupra unei surse; pentru a purcede la efectuarea procesului informațional, *receptorul presupune ceva asupra sursei*; fără o *ipoteză* nu poate avea loc *informarea*. (În pofida aspectului antropomorfic al formulării, situația se prezintă astfel pe toată scara proceselor informaționale; asupra acestei laturi vom reveni într-un capitol ulterior.) Cunoscînd foarte puțin despre sursă, receptorul presupune, să zicem, m stări posibile (din *cunoașterea* anterioară sau din *extrapolarea* cunoașterii prezente; să ne gîndim, de exemplu, cum s-au desfășurat lucrurile în experiențele de determinare a proprietăților solului lunar!) și, dacă posedă acea „îndoială" tipic științifică, mai presupune încă o variantă: existența posibilă a unor stări despre care receptorul nu are cum să extrapoleze și care au toate un singur caracter comun pe baza căruia sînt grupate într-o singură stare, și anume că la momentul respectiv nu pot fi

[1] „De regulă, entropia (termodinamică.—*E.K.*) este definită ca măsură a dezordonării din sistemul fizic. Mai exactă este afirmația că *entropia* (termodinamică. — *E.K.*) *este măsura informației* care ne lipsește asupra structurii reale a sistemului" (este, prin urmare, *identică* cu entropia informațională) (L. Brillouin, *Science and information theory*, după ediția rusă, Moscova, 1960, p. 211). „În accepția ei cea mai generală, informația reprezintă măsura neuniformității distribuției materiei și energiei în spațiu și timp, măsura schimbărilor ce însoțesc desfășurarea tuturor proceselor din lume" (deci informația, entropia informațională, este *identică* cu cea termodinamică) (V.M. Gluşkov, *Gîndirea și cibernetica*, în „Probleme de filozofie", nr. 1/1963, p. 41).

diferențiate. În total deci $m + 1$ stări, despre care, în virtutea necunoașterii, nu se poate afirma în primă aproximație decît că sînt egal probabile sau că au probabilități sensibil apropiate. Nedeterminarea înainte de interacțiune (entropia informațională) este

$$H_0 = \log (m + 1).$$

Efectuînd interacțiunea, se constată o anumită stare, nedeterminarea inițială este înlăturată, deci informația obținută în prima interacțiune este egală cu nedeterminarea inițială, $I_1 = H_0$.

Repetînd măsurătoarea cu aceleași presupuneri, se obține $I_2 = H_1$, $H_1 = H_0$, $H_{presupus}$ rămînînd o bucată de timp același.

După un număr oarecare de interacțiuni formația activă din prelucrarea datelor obținute este în măsură să formuleze noi *ipoteze* asupra sursei: și anume că aceasta din urmă are, în loc de $m + 1$ stări, n stări, unde n este mai mare, mai mic sau egal cu $m + 1$, și că probabilitățile stărilor nu sînt egale, ci prezintă o anumită distribuție: $p_1, p_2, \ldots, p_i, \ldots, p_n$. Noua nedeterminare presupusă din expresia lui $H = -\Sigma p_i \log p_i$ crește odată cu numărul de stări și scade cu îndepărtarea distribuției probabilităților de la distribuția uniformă. Prin urmare, H_k, nedeterminarea presupusă înaintea măsurătorii $k + 1$, poate fi, în general vorbind, mai mare sau mai mică decît H_0. Continuînd însă măsurătorile, $H_{presupus}$ va tinde la limită să corespundă stării obiective a sistemului, nedeterminării obiective din sistem. Cum informația obținută este egală cu $H_{presupus}$, rezultă că *numai la limită* informația obținută este egală cu nedeterminarea proprie, obiectivă a sistemului. Prin urmare, numai la limită, numai pentru o formație activă posedînd o cunoaștere exhaustivă a sistemului, informația obținută este egală cu nedeterminarea sistemului și entropia informațională este egală cu entropia termodinamică.

Lucrurile sînt chiar ceva mai complicate. Sistemul exterior, existent în sine, al sursei are un grad al său de ordonare, independent de faptul dacă cineva se interesează sau nu să cunoască acest grad. În momentul în care o formație activă cunoaște din acest punct de vedere sursa, teoretic informația pe care o obține asupra stărilor succesive ale sursei este egală cu entropia termodinamică a acesteia; teo-

retic, deoarece nici o formație activă nu poate cunoaște exhaustiv vreo sursă. Cu alte cuvinte, la un nivel dat — la o cunoaștere dată — entropia informațională este totdeauna egală cu entropia termodinamică, dar nu a sursei *așa cum este ea în sine*, ci a sursei *așa cum este redusă ea în modelul* pe care și-l face formația activă. Din discrepanța dintre comportarea presupusă și cea reală rezultă procesul de învățare. Învățarea se face pe seama diferenței dintre entropia termodinamică presupusă și cea reală, dintre entropia informațională și cea termodinamică, dintre nedeterminarea care rezultă din neștiință și cea proprie realității externe. Mai departe, chiar dacă am presupune existența unei astfel de formații (care n-ar mai fi demon, ci dumnezeu, întrucît ar trebui să cunoască exhaustiv întreaga realitate pentru ca informația să fie într-adevăr o măsură a schimbărilor ce însoțesc desfășurarea tuturor proceselor din lume), trebuie ținut seama că și sistemul însuși evoluează; entropia acestuia se modifică, informația obținută în fiecare interacțiune este alta decît cea corespunzătoare stării actuale, deoarece entropia presupusă este elaborată pe baza cunoașterii acumulate anterior. Pentru ca în diversele interacțiuni informaționale entropia informațională realizată să corespundă entropiei termodinamice a sistemului, ar trebui ca formația activă să posede o cunoaștere exhaustivă a tot ceea ce a fost și a tot ceea ce va fi. Știind însă totul, nu ar mai avea nevoie și nici nu ar mai putea afla nimic!

Esența interacțiunii informaționale constă în înlăturarea nedeterminării *presupuse* în situația dată; informația este o mărime care caracterizează un anumit tip de interacțiune între formația activă (subiect) și sursă (existent independent), și anume măsura în care starea ulterioară a existentului este așteptată de subiect (cu cît evoluția este mai puțin previzibilă, cu atît informația ce se obține este mai mare).

Relațiile dintre informație și entropie (termodinamică) rezultă, pe de o parte, din faptul că numărul stărilor posibile ale existentului este cu atît mai mare cu cît entropia acestuia este mai mare (existentul este mai puțin organizat) și, pe de alta, din faptul că procesul informațional implică și interacțiune energetică, *ipso facto* variația entropiei termodinamice a sistemului receptor-sursă. Din faptul că amîndouă se referă la starea de determinare sau de nedeterminare a sistemului rezultă echivalența matematică a expresiilor lor. *Ele consideră însă nedeterminarea respectivă în cadre, pe*

planuri diferite, entropia termodinamică în cadrul existenței de sine și în sine a sursei, independent de receptorul care se informează, iar informația, respectiv entropia informațională, în cadrul relației formație activă-existent, de unde nelegitimitatea identificării celor două entropii.

În general, un principiu metodologic fundamental cere să se distingă riguros mărimile care se referă la stări ale existentului independent de existența formației active, de mărimile care se referă la interacțiuni ale formației active cu existentul. Faptul că atît primele, cît și celelalte sînt elaborate de către o formație activă nu impietează sau, dacă vreți, impietează în aceeași măsură asupra obiectivității mărimilor respective. Cu cît în stabilirea mărimilor momentul inerent de subiectivism introdus de formația activă care cunoaște este mai riguros limitat de confruntarea, directă și indirectă prin implicații, a mărimilor cu realitatea, cu atît mărimile respective au o mai puternică obiectivitate, iar construcția teoretică care le încheagă are un mai pronunțat caracter științific. Numai că unele se referă la existentul ca atare, iar altele la interacțiunea formație activă-existent ca atare. Primele mărimi reprezintă *produsul* procesului de cunoaștere a *existentului*, iar celelalte *produsul* procesului de cunoaștere *a însuși procesului de cunoaștere*. Instrumentul care s-a format ca urmare a interacțiunii cu mediul (pentru cunoașterea mediului) este îndreptat și folosit pentru cunoașterea însuși a instrumentului, a interacțiunii informaționale. În cadrul acestui proces, interacțiunea informațională apare ca ceva exterior, obiectiv pentru formația care o studiază, dar, prin structura sa, ea este interacțiunea dintre o formație activă și mediu și nu o proprietate generală a acestuia din urmă.

Problema pe care o discutăm capătă o pondere deosebit de importantă în cadrul tematicii noastre, în principal în legătură cu sursele active. Într-adevăr, interacțiunea informațională are loc și între formații active, una fiind sursă iar cealaltă receptor. Mesajele sînt elaborate, bineînțeles, potrivit structurii interne a sursei. Teoria informației analizează însă aceste mesaje statistic pentru a desprinde structura statistică a mesajelor, deci implicit a sursei, independent de procesele care dau naștere mesajelor concrete. Formația activă care constituie sursa posedă un alfabet, ansamblul simbolurilor pe care le folosește, și transmite mesaje alcătuite din simbolurile respective. Pînă în prezent am

considerat doar probabilitățile necondiționate de apariție a simbolurilor respective, adică am considerat probabilitățile diferitelor simboluri de a fi găsite în diversele mesaje, fiecare simbol independent de simbolurile precedente, necondiționate de ele.

Analiza structurii mesajelor indică însă puternice legături statistice interne între simboluri, specifice sursei respective. Aceste legături interne sînt exprimate prin probabilități condiționate sau probabilități de trecere de la o stare la alta, de la un simbol la altul. Dacă o persoană oarecare folosește o anumită limbă, există probabilități diferite ca o literă dată să fie urmată de o literă sau alta. Astfel, în limba română, de exemplu, dacă a avut loc evenimentul „c", a apărut litera „c", există probabilități diferite ca după „c" să apară, să zicem, „e", „r" sau „d". Dacă se iau în considerare aceste probabilități, entropia informațională a sursei scade, deoarece probabilitățile de trecere $p(j/i)$ — probabilitatea ca, dacă i a avut loc, să apară j — exprimă legături interne ale sursei, legături interne care predetermină într-o anumită măsură comportarea acesteia, deci micșorează nedeterminarea sursei, cantitatea de informație pe care aceasta poate s-o debiteze. La limită, dacă după fiecare simbol sursa debitează cu probabilitatea 1 un alt simbol, tot ceea ce poate transmite sursa este riguros determinat — un singur mesaj! — și, existînd un singur mesaj cu probabilitate 1, sursa nu debitează nici o informație. Pentru a pune în evidență semnificația acestor legături, Shannon a efectuat următoarea experiență pentru limba engleză, repetată de atunci și de alții pentru diferite alte limbi. Shannon a stabilit pe un ansamblu de texte frecvența diferitelor litere ale alfabetului în limba engleză (de unde, în funcție de lungimea textelor, se pot deduce cu precizia dorită probabilitățile apriorice ale diferitelor litere); pe urmă frecvența grupelor de cîte două litere, deci probabilitățile condiționate pe grupe de cîte două $p(a/a)$, $p(b/a)$, $p(c/a)$, ..., $p(a/b)$, $p(b/b)$,... $p(j/i)$, ...; pe urmă frecvențele grupelor de cîte trei litere. După aceea a extras la întîmplare dintr-o urnă șiruri de litere. Într-un caz literele erau puse în urnă proporțional cu frecvența lor; în al doilea caz pe grupe de cîte două, proporțional cu frecvența grupelor respective, în al treilea caz pe grupe de cîte trei ș.a.m.d. Rezultatul a fost surprinzător, chiar senzațional. Dacă în primul caz șirul nu prezenta nici o structură, sau, mai exact, o foarte slabă structură, în al doilea caz începea

să se contureze o structură, iar în al treilea caz apărea o structură care „semăna" cu limba engleză. *Folosirea legăturilor statistice din structura unei limbi, din structura sursei, permite construirea pe cale de rețetă matematică a unor structuri, mesaje care „aduc" ca alură cu mesajele, să le zicem așa, „naturale".*

Shannon s-a oprit aici, intenția lui fiind doar de a pune în evidență importanța legăturilor interne statistice ale mesajelor pentru teoria transmisiei informației. Aceste legături statistice interne permit ca la recepționarea unui mesaj în condiții de zgomot semnalul să poată fi reconstituit, această reconstituire fiind un exemplu fizic de folosire a redundanței mesajului pentru corectarea erorilor. De aici au pornit însă, datorită lucrărilor altor autori, două linii de extindere ale teoriei informației dincolo de domeniul în care a apărut:

— *prima linie:* analiza cu mijloacele matematice puse la dispoziție de teoria informației și ulterior nu numai de teoria informației, ci și de alte discipline matematice, a proprietăților limbilor umane *(lingvistica matematică)*, precum și a *structurii* și *calității artistice* a mesajelor *(estetica informațională)*;

— *a doua linie:* folosirea relațiilor matematice date de teoria informației pentru producerea cu ajutorul unor dispozitive tehnice de tip „creier artificial" a unor „opere de artă" [1] (muzică, poezie, pictură etc.[2]), folosirea drept formații active generatoare de artă a unor dispozitive tehnice, în particular a mașinilor de calcul electronice, adică a celor mai dezvoltați „creieri arificiali" de pînă în prezent.

Dacă prima linie are o legătură indirectă cu tema pe care o tratăm, legătura celei de-a doua linii este evidentă. Stabilirea raporturilor creier uman—creier artificial implică și conturarea acestor raporturi din punctul de vedere al capacității artistice, al funcției de creație artistică a acestor două tipuri de „dispozitive" [3].

---

[1] Rugăm susținătorii aprigi ai acestui mod de producere a operei de artă să ne ierte ghilimelele: dacă și în ce măsură sînt justificate este o întrebare la care vom încerca să schițăm un răspuns pe parcursul lucrării. Deocamdată aici ele semnifică deschiderea problemei și nu rezolvarea ei.

[2] *Estetică, informație, programare, antologie*, Edit. științifică, București, 1972; V.E. Maşek, *Artă și matematică*, Edit. Politică, București, 1972.

[3] De astă dată rugăm pe adepții formulărilor de tipul „creierul este o mașină care..." să accepte aceste ghilimele. Aici ele semnifică doar punerea la îndoială a identificării creierului cu o mașină, nu demonstrația acestei afirmații.

Mulțumindu-ne aici să semnalăm doar problema pe care o vom trata mai tîrziu, să ne îndreptăm atenția asupra formației active ca receptor. După cum am văzut, teoria informației nu se ocupă de receptor, deci de formația activă, decît ca înregistrator al simbolurilor recepționate, ca atare ea nu se referă întru nimic la ce anume reprezintă simbolurile înregistrate, ci numai la frecvențele lor de apariție, la nedeterminarea înlăturată prin înregistrarea unui mesaj, a unuia sau altuia din simboluri sau a unui șir de simboluri. Valoarea practică a acestei restrîngeri s-a dovedit colosală: teoria statistică a informației s-a dezvoltat rapid și și-a dovedit eficiența în numeroasele probleme practice rezolvate.

Extinderea ca atare a teoriei informației în domenii în care pe primul plan apare semnificația informației, valoarea cognitivă a acesteia, conținutul simbolurilor, ceea ce este semnificat de aceste simboluri sau, și mai departe, în domeniile în care apare valoarea pragmatică a informației, în care sînt implicați „consumatorii" informației, folosirea terminologiei respective pentru alte conținuturi decît cele definite inițial a constituit „în cel mai bun caz o oarecare valoare stimulatoare euristică, iar în cel mai rău caz o inducere în eroare absolută" [1]. De aici au plecat încercări de construire a unor teorii statistice a informației semantice (adică a informației din punctul de vedere al sensului purtat de simboluri) [2] și a informației pragmatice, a valorii informației (adică a informației din punctul de vedere al valorii pe care o are pentru utilizator) [3]. În cadrul primelor teorii se schițează o cale de *a măsura numeric*, de exemplu, *conținutul informațional* al unei afirmații făcute asupra unui eveniment individual, precum și *conținutul mediu de informație* care se obține dacă se realizează o afirmație dintr-un grup de afirmații care se exclud mutual, conținut care se obține prin medierea conținutului informațional al diferitelor afirmații pe clasa respectivă de afirmații. În cadrul teoriilor care se referă la valoarea (pragmatică a) informației, aceasta din urmă se încearcă a se măsura prin *creșterea* (respectiv scăderea)

[1] Yehoshua Bar-Hillel și Rudolf Carnap, *Semantic Information*, în „The British Journal for the Philosophy of Science", V,4, august, 1953, nr. 14.

[2] *Ibidem*.

[3] A.A. Harkevici, *O țenosti informații*, în „Problemî kibernetiki", 1960, nr. 4.

probabilității de realizare a scopului, pentru care a fost culeasă informația respectivă.

Pînă în prezent cel puțin, încercările de mai sus de a dezvolta o teorie și o măsură cantitativă a semnificației și a valorii (practice a) informației s-au dovedit puțin fecunde, drumurile respective rămînînd minore și în afara făgașului dezvoltării impetuoase a teoriei informației, așa cum a fost prezentată în paginile anterioare.

În legătură însă cu raportarea teoriei informației la receptor trebuie să lămurim măsura în care sînt justificate două poziții diametral opuse: pe de o parte, negarea teoriei statistice a informației ca fiind valabilă pentru receptor în mod absolut [1], pe unele probleme concrete [2] sau la modul general [3] și, pe de alta, tendința destul de răspîndită de a considera procesele psihice ca procese de prelucrare a informației, folosind analogia cu canalele tehnice de comunicație [4].

Critica concretă a modului shannonian de măsurare a cantității de informație conține trei momente [5]:

[1] V. Săhleanu, *Legătura informațională în cadrul interacțiunii dintre sistemele materiale*, în „Revista de filozofie", nr. 1, 1964: „... E necesar să renunțăm la definirea cantității de informație purtată de un factor prin măsura incertitudinii abolite de evenimentul produs de acest factor"; V. Săhleanu, *Știința și filozofia informației*, Edit. Politică, București, 1972: „... Anexarea întregului domeniu de cercetare la teoria matematică a informației (așa cum a fost elaborată de Cl. Shannon) s-a dovedit a fi ilicită" (p. 14). În aceeași lucrare se analizează ceva mai pe larg „succesul fără precedent" al teoriei informației a lui Cl. Shannon (p. 103—108, „Observații asupra psihosociologiei teoriei informației"). Prinzînd problema din numeroasele laturi — autorul care admite că succesul teoriei lui Cl. Shannon nu a fost o modă și că aceasta a răspuns unei nevoi fundamentale a ansamblului dezvoltării științei — refuză totuși să vadă în succesul acesteia *meritul intrinsec al teoriei respective*, și anume acela de a da un model fizico-matematic, *pînă azi cel mai bun*, care să permită măsurarea cantității de informație; dealtfel *toate* modelele propuse pentru a măsura *cantitatea* de informație pornesc într-un fel sau altul de la caracterul de „selecție din ceva" pe care-l prezintă actul informațional și folosesc ca aparat matematic calculul probabilităților. A se urmări cu atenție prezentarea „diferitelor informații" în însăși lucrarea autorului citat aici sau, mult mai pe scurt, în *La science contemporaine*, tome III, vol. II, *Le XX^e Siècle*, Ed. P.U.F., 1964, p. 102—103.

[2] Yu. A. Shreider, *On the Semantic characteristics of Information*, în „Information Storage and Retrieval", vol. 2, august 1965, nr. 4.

[3] I. Irimie, *Reflectare și informație*, în *Materialismul dialectic și științele naturii*, vol. X, Edit. politică, București, 1965, p. 558—559.

[4] S. Goldman, *Information Theory*, Constable and Comp., London, 1953.

[5] Yu. A. Shreider, *op. cit.*

— primul, există situații în care nu se poate în principiu găsi o mărime numerică în stare să exprime probabilitatea unui eveniment, cu alte cuvinte sînt evenimente cărora nu li se poate defini probabilitatea (cum am putea, de exemplu, determina probabilitatea de apariție a unui avion deasupra unei regiuni date?) și deci nu mai avem cum determina, neavînd probabilitățile respective, cantitatea de informație;

— al doilea, „descoperirea unui nou element chimic care se exprimă în puțini biți ... reprezintă fără îndoială mult mai multă informație ... decît măsurătorile proprietăților fizico-chimice ale unei substanțe oarecare, care cer mult mai mulți biți, dar sînt mult mai puțin semnificative“ [1];

— al treilea, potrivit teoriei statistice a informației, un receptor obține cu atît mai multă informație cu cît știe dinainte mai puțin asupra evenimentelor (respectiv probabilităților evenimentelor); totuși, se știe că un receptor informat, adică „pregătit“, obține mult mai multă informație din parcurgerea unei cărți, decît unul neinformat, sau, cum se spune în lucrare, un receptor „primitiv“ ia puțin din text, un receptor „dezvoltat“ ia maximum de informație din text, iar un receptor „saturat“ nu ia nimic din text, deoarece știe dinainte tot.

Prima obiecție este în convergență cu cea adusă în general definirii informației prin înlăturarea nedeterminării care apare prin raportarea, din punctul de vedere al probabilităților de realizare, a variantei realizate la totalitatea variantelor posibile ale interacțiunii concrete. « Pot oare sistemele ce primesc și prelucrează o anumită informație judeca „probabilitățile“ de „realizare“ a unui eveniment? Pot oare acestea elabora raportul matematic dintre „varianta realizată“ și „variantele posibile?“ »[2]. Ar însemna că receptorii sînt „automate shannoniene“ [3].

Spuneam mai înainte că această măsură a cantității de informație, deoarece a dat asemenea rezultate, și-a dovedit pe deplin utilitatea. Vom demonstra acum, sau, cel puțin, vom încerca să demonstrăm, că nu este vorba doar de utilitatea practică a teoriei statistice a informației, ci de surprinderea în cadrul acestei teorii a unei laturi esențiale a interacțiunii informaționale, a unei laturi care își are originea în însuși modul de apariție al interacțiunii informaționale. Într-adevăr, după cum am văzut, interacțiunea informațională a apărut din necesitatea formației active de a înlătura nedeterminarea în ceea ce privește schimbările din mediu pentru a acționa în direcția păstrării stării proprii ca atare. Obiecția că receptorul, formația activă, nu poate defini probabilități și acționa ca un automat shannonian nu face decît să ilustreze tendința de schematizare a lucrurilor prin neînțelegerea raporturilor dintre comportarea realului, în speță interacțiunea informațională a formației active, și elaborarea modelului fizic-matematic care să descrie *cantitativ* această comportare.

Într-adevăr, se știe că există o noțiune cotidiană care exprimă starea formației active în raport cu desfășurarea evenimentelor: așteptarea. *Formația activă în permanență se așteaptă sau nu la ceva*. Formalizată și definită riguros, această așteptare devine probabilitate, cu distincția dintre probabilitatea apriorică, presupusă, și cea obiectivă, a evenimentului în sine. De exemplu, animalul exprimă „probabilitatea“ pe care o atribuie apariției unui pericol prin comportarea sa degajată sau atentă, la pîndă, prin mersul degajat sau precaut. Desigur, animalul nu formulează și nu scrie p_i și nu-i atribuie valori, dar *asta* face: apreciază situația din punctul de vedere al așteptării a ceva [1]. A afirma că elabo-

[1] *Ibidem*.
[2] Vezi I. Irimie, *op. cit.*, p. 558.
[3] Vezi Victor Săhleanu, *op. cit.*, p. 295.

[1] În cadrul discuțiilor cu privire la relațiile dintre informație și probabilitate s-a făcut uneori afirmația că „informația“ este mai intuitivă decît „probabilitatea“ și că ar trebui, poate, ca teoria informației să fie construită matematic pornind de la informație și ajungînd la probabilitate și nu invers, cum se procedează curent. Indiferent însă de faptul că teoria informației poate fi construită matematic, axiomatic, fără a porni de la probabilitate, și a se ajunge de la informație la probabilitate, nouă ni se pare că nu poate fi pus totuși la îndoială caracterul primar, intuitiv, al probabilității în raport cu informația. *Aparența* relației inverse vine de la faptul că se compară probabilitatea, așa cum s-a conturat ea în matematică, în știință, cu informația, așa cum se conturează din experiența cotidiană a comunicărilor dintre oameni. Dacă ne gîndim însă că probabilitatea este doar noțiunea științifică corespunzătoare *așteptării*, apare evident caracterul primar al acesteia. Copilul nou născut, după primul șoc, deja se *așteaptă* la ceva înaintea formării oricărei legături de tip comunicație; nu există zero cognitiv (din materialul care urmează, anticipăm, cititorul va putea urmări dealtfel o foarte interesantă caracteristică a dezvoltării sistemului nervos: sistemul motor se dezvoltă înaintea celui senzorial; informația este receptionată ca urmare a acțiunii asupra mediului, ca „răspuns“ al acestuia). Considerînd problema și din alt punct de vedere, remarcăm că structura probabilistică a proceselor, deci probabilitatea, este o proprietate generală a materiei, deoarece la baza tuturor proceselor stau procesele cuantice, în timp ce interacțiunile informaționale, deci informația, constituie o proprietate a unei părți a materiei organizate într-un anumit fel.

rarea modelului fizic al relației informaționale și determinarea cantității de informație în cadrul unei construcții științifice riguroase, cu definiții riguroase și măsuri net definite, înseamnă a „reduce" animalul, formația activă în general, la un automat shannonian și „informația la raportul matematic al probabilității" este echivalent cu a afirma că elaborarea teoriei gravitației de către Newton și a măsurilor corespunzătoare de forță și de greutate a însemnat „reducerea" formațiilor active care mînuiesc diverse „greutăți" la „automate newtoniene" și greutatea la un raport matematic! Or, nu a fost nevoie de teoria newtoniană pentru a se aprecia că un obiect ținut în mînă e mai greu sau mai ușor și nici astăzi încordarea mușchilor nu este proporționată cu greutatea de ridicat prin „raportare" și „judecare" de dyne, grame etc. Modelul fizic-matematic care permite însă atribuirea unor valori în cadrul unui sistem riguros este teoria newtoniană. Aceasta relativ la prima obiecție.

La a doua obiecție se poate răspunde mult mai ușor: un kilogram dintr-o substanță oarecare este un kilogram, indiferent dacă substanța respectivă este apă, plumb sau aur. Pentru enunțarea descoperirii unui nou element sînt necesare cîteva rînduri, pentru enunțarea proprietăților unei substanțe oarecare cîteva pagini. Proporțional *cu această mărime*, cu cantitatea ei și nu cu semnificația ei, se consumă mijloacele materiale de transmitere și de păstrare a informației respective, după cum proporțional cu numărul de kilograme se consumă mijloacele de transport și de păstrare a unor substanțe indiferent, să zicem, de valoarea acestora. Conținutul informației, semnificația ei, nu au putut fi, pînă în prezent cel puțin, cuprinse într-un model fizic-matematic care să permită o măsurare riguroasă; aceasta depinde de o mulțime de alți factori, după cum și prețul aurului sau al apei, deși acesta se măsoară, depinde și el de o mulțime de alți factori și nu numai de cantitatea respectivă, după cum „valoarea" unei substanțe chimice pentru o reacție nu depinde numai de cantitatea respectivă, ci, să zicem, și de puritatea ei etc.

În fine, să analizăm a treia obiecție, care este cea mai serioasă. Într-adevăr, în modelul shannonian, cantitatea de informație este cu atît mai mare, cu cît sursa știe mai puțin apriori despre evenimentele (variantele) despre care se informează. De asemenea este adevărat că un receptor „pregătit" extrage mai multă informație (și „cantitativ", nu numai

ca semnificație) de la aceeași sursă decît un receptor „nepregătit". Lucrurile sînt însă numai aparent contradictorii. Într-adevăr, un receptor „primitiv" („nepregătit") nu extrage toată informația din text, deoarece nu distinge toate nuanțele (în termenii teoriei informației: variantele) cuprinse în acel text, în timp ce receptorul „pregătit" distinge mult mai multe, la limită toate nuanțele cuprinse acolo; primul, „primitivul", în virtutea „nepregătirii", alege din mai puține variante, deoarece nu le distinge, raportează ceea ce recepționează la mult mai puține variante, ca atare obține mai puțină informație. Receptorul „pregătit", „dezvoltatul", distinge între mai multe variante, deci obține mai multă informație. Cînd este atît de pregătit încît le știe dinainte, cînd este „saturat", nu mai are de înlăturat nici o nedeterminare și, ca atare, nu mai obține nici o informație. Prin urmare, contradicția este doar aparentă; ea apare deoarece în compararea cantităților de informație se iau în considerare seturi (repertorii) de variante diferite, în particular se raportează situații în care avem a face cu seturi apriorice diferite. Dacă unul și același text este recepționat de două formații active și ambele, atît receptorul „primitiv", cît și cel „dezvoltat", își „însușesc" complet textul respectiv, ele devin în raport cu acesta (cu textul) receptori „saturați". Primul, „primitivul", a scos din text mai multă informație decît al doilea, „dezvoltatul": pentru primul a crescut și m, numărul variantelor din care ar fi putut alege, s-au precizat și mai mult probabilitățile, p_i, care ar fi trebuit să le atribuie. Însușindu-și textul, „dezvoltatul" a aflat ce nu știa, însă „primitivul" a aflat nu numai ce nu știa, ci și ceea ce nu știa că nu știe. În legătură cu aceasta sînt interesante pozițiile a doi mari specialiști în domeniul teoriei informației în privința informației pe care o obține un receptor care *recitește* o carte. L. Brillouin [1] face următoarea remarcă: „Cînd cineva citește pentru prima oară o carte, el obține, desigur, informație, și aceasta trebuie considerată ca informație nouă pentru cititor. Cînd citește însă a doua și a treia oară cartea, el obține numai redundanță și nu informație nouă". La care A. A. Harkevici, într-o notă la ediția în limba rusă, observă: „E greu să fii de acord cu acest punct de vedere. Dacă lucrurile ar sta într-adevăr astfel, n-am reciti unele cărți de cîteva

[1] L. Brillouin, *Science and information theory*, ediția rusă, Moscova, 1960, p. 344.

ori, și totuși facem asta în mod curent. Asta pentru că, în primul rînd, la prima citire, de regulă, nu se extrage toată informația cuprinsă în carte; în al doilea rînd, cu scurgerea timpului are loc o descompunere a informației acumulate din text (spus simplu, informația se uită), și această pierdere cere să fie compensată". Prin urmare, în termenii de mai înainte, recitind o carte, un receptor primește informație, pe de o parte, pentru că a uitat ceva din informația anterior primită (nu mai poate stabili ce anume variante au avut loc și care din ele s-a realizat) și, pe de alta, pentru că între timp a devenit mai puțin „primitiv", s-a dezvoltat și distinge mai mult în același text.

Cititorul ar putea întreba nedumerit: bine, dar dacă se retipărește cartea nu este oare necesar pentru aceasta același spațiu tipografic și, prin urmare, nu conține cartea aceeași cantitate de informație?

Ne lovim aici de momentul cel mai delicat și mai fin al determinării cantității de informație, al modelului fizic care stă la baza măsurării cantității de informație: deși aceasta se măsoară, se determină *indiferent* și *independent* de semnificația (cognitivă și pragmatică) pe care o are informația pentru receptor, cantitatea de informație recepționată depinde de starea de cunoaștere anterioară a receptorului, deci de capacitatea acestuia de a realiza semnificațiile informației recepționate. Cantitatea de informație nu măsoară semnificațiile informației obținute, dar poate fi măsurată în funcție de capacitatea receptorului de a realiza aceste semnificații. Prin urmare, informația este privită ca *apărînd dintr-o interacțiune*, ca realizîndu-se în cadrul unei interacțiuni în care cel puțin receptorul este o formație activă și ca *exprimînd raportarea receptorului* la ansamblul „mulțimea evenimentelor posibile — mulțimea evenimentelor realizate". Informația constă în stabilirea de către formația activă a ce anume a avut loc. *Cantitatea de informație* rezultă din raportarea a ceea ce a avut loc la ceea ce formația activă a presupus că ar fi putut avea loc. *Semnificația informației* rezultă din raportarea și din încadrarea a ceea ce a avut loc în ansamblul reprezentării formației active despre cum au loc evenimentele respective. *Valoarea* informației rezultă din raportarea de către formația activă a ceea ce a avut loc la necesitățile izvorîte din existența acesteia în cadrul evenimentelor care au loc. Prin urmare, nu numai momentul cognitiv și cel pragmatic, ci și momentul fizic depind de

structura formației active care realizează informația. Succesul teoriei informației constă tocmai în aceea că a izbutit să desprindă latura comună, independentă de structura concretă a sursei, care intervine în realizarea momentului fizic, și să formalizeze, să elaboreze un model fizic al acestei laturi comune. Datorită acestui succes, elaborarea unui model adecvat, cantitatea de informație poate fi măsurată în cadrul unui sistem matematic riguros, în timp ce semnificația și valoarea informației nu pot fi, cel puțin deocamdată, măsurate astfel, deși în practica cotidiană fiecare formație efectuează încontinuu această măsurare, adică măsoară intuitiv, fără măsuri riguros definite, și măsoară cu succes, dovadă că formațiile active continuă să existe. Poate că succesul teoriei statistice a informației și greutățile de care se lovesc încercările de elaborare a unor teorii cantitative a semnificației și valorii informației vin tocmai din faptul că în primul caz a fost posibilă eliminarea structurii concrete a formației active (structură care este puternic diferențiată și individualizată biologic, fiziologic, psihologic și social la om), iar în celelalte cazuri trebuie, în principiu, introdusă structura formației active.

În orice caz, ținem să menționăm aici că unele confuzii și unele concluzii, mai mult sau mai puțin justificate, vin nu numai din introducerea ilegală (în sens de neexplicitată) a măsurării semnificației sau valorii informației atunci cînd se discută despre modul de măsurare a cantității de informație, ci și din neglijarea faptului că, deși cantitatea de informație se măsoară *obiectiv*, ea poate fi măsurată ca atare numai în cadrul unei interacțiuni bine definite. Aceasta din urmă are ca elemente principale mulțimea evenimentelor presupuse de receptor și distribuția de probabilități apriorice atașate acestei mulțimi (ca atare, compararea, pentru a fi valabilă, trebuie făcută fie în cadrul aceleiași interacțiuni, fie raportînd cantitățile de informație, într-un fel oarecare ponderat, la structurile interacțiunilor din care provin cantitățile respective). Bitul de informație obținut ca urmare a descoperirii unui nou element (răspunsul la întrebarea „există sau nu acest element?") nu poate fi comparat *nemijlocit* cu biții de informație din altă interacțiune (măsurarea unor proprietăți fizico-chimice ale unei substanțe). În fond, acest unic bit — există un element nou x — este rezultatul sintetizat a numeroase răspunsuri la numeroase întrebări, a numeroși „da" și „nu", care tocmai ei au permis

elaborarea acestei afirmații, a acestui bit. Cu alte cuvinte, acest bit este, ca să zicem așa, un „bit cumulativ" în raport cu alți biți, și compararea lor, în afara faptului că sînt doar biți, nu poate fi făcută nemijlocit [1].

Să luăm acum în considerare cealaltă poziție, cea care tinde să analizeze activitatea psihică prin analogie cu o linie de comunicație, adică să considere drept esențiale în activitatea formației active cantitatea și structura statistică a informației primite, analogie folosită și în analiza activității sistemului nervos central al omului, a formei superioare de activitate a creierului, a gîndirii.

S-au făcut numeroase studii experimentale psihologice care au urmărit să pună în evidență rolul structurii probabiliste a informației în modul de desfășurare a activității psihice a omului. Pe această linie s-a arătat că mecanismul psihologic al percepției și prelucrării informației individuale (nu medii) pe simbol se bazează pe perceperea de către om a structurii probabiliste a succesiunii de simboluri recepționate. Timpul de reacție la simbol, de exemplu, crește sistematic cu scăderea probabilității de apariție a simbolului. Cercetările au pus însă în evidență, pe de altă parte, și faptul că creșterea valorii (pragmatice) a informației determină o intensificare a procesului de percepție. Tot din același punct de vedere a fost studiat volumul memoriei operative (capacitatea de memorare pe scurtă durată), din care a reieșit o lungime maximă a alfabetului de simboluri care poate fi folosit, adică încărcarea informațională maximă a simbolurilor folosite (cu cît avem mai multe simboluri, cu atît încărcarea informațională pe simbol este mai mare, din $H = \log m$). Mai departe, numeroase studii au încercat să pună în evidență ceea ce se cheamă capacitatea de transmisie, „viteza de prelucrare a informației de către om". Rezultatele obținute s-au dovedit neconcordante, caracterul contradictoriu al datelor datorîndu-se, pare-se, în principal greutăților de precizare riguroasă a condițiilor experiențelor, de măsurare a vitezei de transmisie, precum și dependenței de alți factori, ca, de exemplu, de complexitatea perceptivă a stimulării în cadrul experienței, de compatibilitatea stimulului și a reacției, de nivelul de antrenare etc. Cercetările efectuate au pus însă în evidență utilitatea folosirii aparatului teoriei informației la studiul activității senzori-motorii a omului.

[1] Desigur, prin extensiune, se poate măsura și se măsoară cantitatea de informație și în afara cadrului unei interacțiuni informaționale în act, de exemplu se spune că o memorie are o capacitate de atîția kilobiți. O analiză ceva mai atentă arată însă imediat că această măsurare pornește de la presupunerea unei interacțiuni informaționale în cadrul căreia în memoria respectivă are loc înscrierea sau citirea unei informații. Mai mult, se presupune că în interacțiunea informațională respectivă s-a eliminat orice redundanță și deci probabilitatea ca într-o celulă a memoriei să fie înscris un simbol din alfabetul folosit este aceeași pentru orice celulă și orice simbol.

Un număr foarte mare de cercetări au fost întreprinse pentru a pune în evidență rolul pe care îl are structura statistică a informației, așa cum reiese ea din modelul fizic-matematic al teoriei informației, în procesele de formare a așa-numitelor „noțiuni artificiale", adică în cadrul proceselor care pun în evidență mecanismul generalizărilor elementare. Deosebit de interesante ni se par experiențele efectuate de O. K. Tihomirov [1], care au pus în evidență momente semnificative în ceea ce privește atît influența structurii statistice a informației asupra comportării și modului de acționare al omului, cît și specificul structurii activității de gîndire a acestuia.

Aici vom aborda deocamdată primul aspect, și anume influența structurii statistice a cîmpului de informație asupra modului de comportare al formației active [2], în particular modul în care „formația activă" își selectează informația necesară. Și anume, mai întîi se pune problema dacă *numărul* „actelor de informare" în cadrul stabilit *experimental* are vreun raport cu entropia informațională a cîmpului de informație; reamintim aici exemplul cu măsurarea lungimii unor obiecte care ilustra faptul că entropia informațională măsoară numărul *minim* necesar de pași sau de decizii pentru a ridica nedeterminarea la care aceasta se referă. În al doilea rînd, se pune problema dacă *ordinea* „actelor de informare" stabilită *experimental* are vreo corelare cu ponderea informațională a actelor, dacă în procesul căutării informației formația activă ține seama de această pondere. Experiențele au confirmat ambele laturi; mai mult, *dinamica* desfășurării experiențelor a arătat clar cum, pe măsura recepționării informației, cîmpul informațional se conturează

[1] O. K. Tihomirov, *Struktura mîslitelnoi deitelnosti celoveka*, Izd. Mosk Universiteta, Moskva, 1969.

[2] În concret, în cadrul experienței, „formațiile active" au fost studenți ai Facultății de psihologie a Universității „Lomonosov" din Moscova.

în mintea participanților potrivit cu structura lui statistică și, în consecință, însăși comportarea participanților se structurează pe aceeași linie. Subliniem în legătură cu aceasta patru momente: primul, că în experiențele date „comportarea" consta tocmai în căutarea *activă* a informației necesare; al doilea, că în diferitele serii de experiențe structura statistică a cîmpului informațional ajunge să fie atît de complexă, încît nu putea fi vorba de o memorare fotografică a situațiilor, cu atît mai puțin de către toți participanții, care *toți* manifestau aceeași structură a comportării, aceeași conduită a evoluției acesteia; al treilea, că au fost făcute numeroase experiențe de control pentru eliminarea eventualelor influențe ale altor factori decît cei a căror influență era căutată; în fine, al patrulea, că măsurătorile făcute și desfășurarea succesivă a experiențelor au urmărit să pună în lumină nu numai laturi referitoare la influența structurii statistice a cîmpului informațional, ci și laturi caracteristice structurii procesului de gîndire, laturi care țin de prelucrarea informației recepționate, de realizarea valorii semantice și pragmatice a acesteia. Dat fiind interesul deosebit pe care-l prezintă tipul acesta de experiențe pentru problema pe care o discutăm, dar mai ales pentru faptul că materialul pe care-l furnizează se pretează la o comparare directă, experimentală a comportării omului și calculatorului electronic puși în concret să rezolve una și aceeași problemă, comparare la care vom reveni ulterior, socotim util să prezentăm aici foarte pe scurt aceste experiențe, deocamdată numai sub latura care ne interesează în momentul de față, aceea a influenței structurii statistice a informației asupra modului de căutare a acesteia de către om.

Închipuiți-vă în fața unui panou pe care sînt 81 obiecte diferite, 9 coloane cu cîte 9 cartonașe, fiecare obiect individualizîndu-se prin patru caracteristici: culoarea cartonului (albă, galbenă sau verde), culoarea figurilor desenate pe cartonaș (toate negre, roșii sau albastre), forma figurilor desenate pe cartonaș (numai pătrate, cercuri sau triunghiuri) și numărul figurilor desenate pe cartonaș (una, două sau trei). Prin urmare, aveți în față 81 de obiecte, care se deosebesc fiecare unul de altul prin cel puțin o caracteristică, și vi se spune: din mulțimea acestor cartonașe, eu, cel care

experimentez, am să formez submulțimi, grupări de cartonașe după o combinație oarecare de caracteristici, de exemplu „grupa cartonașelor care au trei pătrate negre" sau „triunghiuri albastre pe cartoane albe" sau „două figuri roșii pe cartoane galbene" etc. Le formez, bineînțeles, fără să așez cartoanele, ci doar desenîndu-le pentru mine prin impunerea caracteristicilor respective. Și începem să jucăm următorul joc: eu mă fixez asupra unei grupări (submulțimi) și dumneavoastră trebuie să găsiți care este submulțimea asupra căreia m-am fixat. Urmează să mă întrebați dacă, de exemplu, cartonul x face parte din mulțime. Dacă da, vă răspund da; dacă nu, nu [1]. Scopul jocului este să izbutiți *printr-un număr cît mai mic de întrebări* să aflați grupa pe care am fixat-o. Nu are nici un rost să-mi puneți 81 de întrebări, cîte una de fiecare cartonaș: gruparea, v-am prevenit, o fac după o combinație oarecare a caracteristicilor de care am vorbit. Și să jucăm jocul nu o dată, ci de multe ori, în seri lungi, eu, experimentatorul, avînd dreptul de la un joc la altul, în cadrul unei serii, să schimb grupa pe care mi-o aleg! Închipuiți-vă acum, că eu, experimentatorul, *fără să vă previn*, schimb de la un joc la altul mereu aceleași două grupe între ele sau mereu aceleași patru grupe între ele sau aceleași opt grupe între ele sau aceleași 14 grupe între ele, schimbarea de la joc la joc făcîndu-se însă *fără vreo regulă*, la întîmplare, într-un caz diferitele grupe avînd frecvențe egale de apariție, în altele frecvențe diferite [2]. Cu alte cuvinte, prin alegerea numărului grupelor, a frecvențelor de apariție și a structurii grupelor, experimentatorul introduce în fiecare caz în parte o *structură statistică diferită* a cîmpului din punctul de vedere atît al numărului și frecvenței grupelor, cît și al frecvenței cu care diferitele cartonașe dau, întrebate fiind, răspunsul *da* (de exemplu, dacă am patru grupe astfel alese încît unele cartonașe sînt comune la toate grupele, altele numai la două și altele specifice cîte uneia singure, iar frecvența celor patru grupe este egală, cartonașele se

[1] Experiența decurge în felul următor: se fixează grupa, deci cartonașele care fac parte din acea grupă. Participantul are în fața sa 81 de butoane, cîte unul de fiecare cartonaș. Pentru a pune întrebarea apasă pe butonul corespunzător cartonașului. Pentru *da*, se aprinde un bec roșu, pentru *nu*, un bec verde.

[2] Experiența s-a făcut cu grupe de cîte cinci persoane în paralel pentru fiecare caz în parte, cazurile deosebindu-se prin numărul submulțimilor alese, prin structura acestora, prin frecvența lor de repetiție etc.

împart din punctul de vedere al probabilității de a da „răspunsul da" în patru grupe: au probabilitate $p = 1$ cele comune tuturor grupelor, la ele răspunzîndu-se totdeauna da, $p = 1/2$ cele comune la două grupe, $p = 1/4$ cele specifice cîte unei grupe și $p = 0$ cele la care, nefăcînd parte din nici o grupă, se răspunde întotdeauna nu). Închipuiți-vă că începeți să jucați. Știți cum vor decurge lucrurile? Așa cum au decurs în experiențele efectuate. Anume, în primele jocuri din serie veți pune multe, foarte multe întrebări, zeci de întrebări pînă „vă prindeți" cam care sînt cartonașele la care se răspunde *da*; pe urmă numărul întrebărilor va scădea brusc la $12 \sim 10$ întrebări și, în continuare, încet-încet veți pune cu fiecare joc tot mai puține întrebări dumneavoastră și partenerii de serie, pînă cînd veți ajunge să rezolvați *cu toții* problema cu un număr *minim* de întrebări: dacă sînteți puși să alegeți între două grupe printr-o întrebare, din patru grupe prin două întrebări, din opt grupe prin trei întrebări, din 14 grupe prin patru întrebări. Cum se explică aceste cifre? Să ne aducem aminte cum a fost definită entropia informațională, cantitatea de informație obținută pe simbol, sau, ceea ce este același lucru, numărul minim de decizii care înlătură nedeterminarea: $H = \log m$, unde m este numărul evenimentelor posibile (considerăm cazul cu frecvențe egale de apariție, numărul de evenimente posibile fiind numărul de grupe din care se face alegerea). Dar pentru $m = 2$, $H = 1$; $m = 4$, $H = 2$; $m = 8$, $H = 3$; $m = 14$, $H = 3{,}82$. Este deci clar: numărul *minim* de întrebări la care se ajunge prin *învățare* [1] este numărul *minim cerut* potrivit cantității de informație de care aveți nevoie. Dacă la începutul unei serii știați doar că vor fi grupe și spre ce trebuie să tindeți (pentru a putea purcede la rezolvarea unei probleme, ea trebuie mai întîi să fie pusă), pe măsură ce se desfășura seria, pe baza experienței acumulate, reușeați să stabiliți numărul grupelor și să optimizați metodica de căutare a grupei, elaborînd „rețeta" optimă, cea *indicată de teoria statistică a informației*.

Mai mult, dacă la fiecare joc eu, experimentatorul, înregistrez și *ordinea* în care alegeți cartonașele pentru a pune întrebările, constat următorul aspect comun tuturor celor

[1] Repetarea jocului constituie un proces de învățare; stabilirea criteriilor după care se alcătuiesc grupele constituie un proces de generalizare elementar, cea ce se cheamă „formarea noțiunii artificiale", corespunzătoare grupei respective.

care participă la experiență (indiferent de specificul reacțiilor acestora, de tipul numărului de jocuri după care se ajunge la soluție și de viteza de rezolvare etc.), dacă la începutul unei serii, în primele jocuri, alegerea cartonașelor este întîmplătoare, apoi, pe măsura derulării seriei, cu oscilații, cu îndepărtări și reveniri, se manifestă din ce în ce mai puternic o tendință care în cele din urmă se stabilizează. Prima întrebare începe cu cartonașul cel mai „informațional" (dă maximum de informație și elimină jumătate din grupele posibile), pe urmă se continuă cu cel care, în noua situație, este cel mai „informațional", și așa mai departe pînă ajungeți să puneți numărul strict necesar de întrebări. Interesant este, de exemplu, că, în situația în care alegerea se făcea între 14 grupe, participanții continuau un timp relativ îndelungat să pună și a cincea întrebare, pînă se convingeau că ea nu mai dădea nici o informație suplimentară și deci se putea renunța și la aceasta.

Prin urmare, experiențele pe care le-am citat mai sus, ca și altele la care nu ne mai referim, au demonstrat în concret *realitatea psihologică a structurii statistice a informației*. Ele au arătat totodată că aceasta constituie doar un moment în activitatea psihică și nu momentul cel mai important. Comportamentul uman în fața unui cîmp de informație ia fără îndoială în considerare, fără a aștepta ca aceasta să fie pusă în evidență de teoria informației, latura cantitativă a acestuia, așa cum rezultă ea din structura statistică a informației; comportamentul uman ia însă în considerare într-un mod specific mai ales valoarea cognitivă și cea pragmatică a informației. De acest aspect ne vom ocupa mai tîrziu. Reținem deocamdată că formația activă, în speță omul, se comportă și nu se comportă ca un canal de comunicație: se comportă ca atare în măsura în care preia informația și o prelucrează potrivit cantității preluate și nu se *comportă* ca atare în măsura în care *psihologic* acționează diferit în situații identice din punctul de vedere al teoriei matematice a informației. Această din urmă afirmație se cere argumentată și ilustrată, ceea ce vom face într-un capitol următor pentru a păstra o anumită economie a lucrării.

Cum se prezintă însă situația cînd în locul formației active naturale, acționează ca receptor o formație activă artificială, de pildă blocul de dirijare al unei instalații automate sau un calculator electronic universal, adevărată uzină de prelucrat informația, principalul pretendent la titlul de

„creier artificial?" Automatul, pentru a putea acționa în cadrul prescris, în „spațiul său vital", este prevăzut cu dispozitive care măsoară mărimile incluse în proces și transmit la centrul de prelucrare informația corespunzătoare necesară dirijării procesului. În fiecare moment are loc o testare a stării mediului, testare care semnifică o determinare a stării mediului, ridicarea nedeterminării și transmiterea sub formă codificată a rezultatelor testării la centrul de dirijare. Din acest punct de vedere, procesele informaționale decurg la fel ca atunci cînd formația receptoare este o formație activă naturală. Cel puțin ca structură „în mare", *din punctul de vedere al realizării momentului său fizic, interacțiunea informațională nu se deosebește prin nimic esențial, fie că receptorul este o formație activă naturală, fie că este vorba de o formație activă artificială* (nu ne referim aici la cazul în care receptorul este doar un simplu aparat înregistrator, un receptor telegrafic etc.). În principiu, din punctul de vedere al realizării recepției informației nu există nici o deosebire dacă pe post de dispozitiv de reglare a vitezei unei locomotive stă un om sau dispozitivul lui Watt: și unul, și celălalt trebuie doar să înregistreze și „să acționeze" în consecință dacă viteza este mai mică, egală sau mai mare decît cea prescrisă. Nu deosebirile de capacitate de discernămînt și de viteză de lucru sînt principiale, ci alte două momente: modul de prelucrare a informației și atitudinea pasivă sau activă (și, dacă activă, în ce fel e activă) față de cîmpul informațional, față de sursa de informație. În cazul de față, deosebirile sînt evidente; va trebui însă să stabilim dacă acestea rămîn deosebiri principiale și în cazul dispozitivelor dinamice complexe, al instalațiilor cibernetice prevăzute cu calculatoare electronice universale, cu „creieri artificiali". Deosebirile principiale, dacă și în măsura în care sînt, vor trebui să fie mai mult decît deosebiri cantitative sau de structură formală. Este greu de presupus deci că ele ar putea fi decelate folosind teoria matematică a informației. Teoria matematică statistică a informației a fost elaborată în nemijlocită legătură cu problemele transmiterii mesajelor; forța și limitele teoriei ni se par suficient de conturate. Forța sa constă în aceea că ea a realizat un model fizico-matematic al interacțiunii informaționale care permite în fiecare caz concret în parte, cu condiția stabilirii corecte a corespondențelor între situația reală și model (condiție valabilă pentru orice teorie științifică), măsurarea cantității de informație independent de

alte atribute ale acesteia. Limitele teoriei, care nu constituie însă o slăbiciune a acesteia, constau în faptul că aceasta nu dă mai mult decît atîta, adică pune în evidență strict latura cantitativă, care determină volumul mijloacelor fizice necesare transmiterii și stocării cantităților de informație, nu și volumul și structura mijloacelor de prelucrare, care depind în principal de momentele cognitive și pragmatice. În principal, pentru că ele depind evident și de cantitățile de informație ce se prelucrează, prelucrarea implicînd în tot momentul atît prezența informației, deci stocare, cît și deplasarea informației, deci transmisie.

Tratarea acestor probleme ne cere însă să purcedem la abordarea aspectelor referitoare la legătura dintre informație și reflectare, latura cognitivă a interacțiunii informaționale, ca și a problemelor legate de comportarea cu finalitate, latura pragmatică a interacțiunii informaționale, ceea ce vom și face în capitolele următoare. Din acest motiv ne vom referi ulterior, și nu în acest capitol, la interacțiunea informațională în care atît sursa, cît și receptorul sînt formații active.

Vom încheia capitolul cu cîteva note privitoare la informația stocată, și anume la informația genetică. Nu ne vom referi la informația genetică în ansamblu, problemele acesteia depășind cadrul strict al tematicii pe care ne-am propus-o. Ne vom referi numai la cîteva aspecte legate de problematica noastră. Vom începe prin a aminti că informația genetică este înscrisă într-un cod care folosește patru simboluri (patru radicali chimici), a căror succesiune în lanțul unei macromolecule de ADN (acid dezoxiribonucleic), în anumite locuri bine determinate ale acestuia, formează o genă, o „instrucțiune". Prin urmare, o genă sau alta înseamnă un aranjament sau altul, o variantă dintr-un număr de variante posibile. Mai departe, structura, numărul, aranjamentul și gruparea genelor în cadrul moleculei de ADN diferă de la specie la specie, în interiorul speciei (cel puțin pentru speciile superioare) existînd și o diferență de la individ la individ; fiecare individ este înzestrat cu un genotip, care reprezintă o variantă dintr-o mulțime dată de variante posibile generate de ansamblul genelor aflate în „zestrea" populației. Prin urmare, la modul cel mai general, programul genetic al unui individ reprezintă o variantă realizată dintr-o mulțime de variante posibile.

Mulțimea variantelor individuale, care dau indivizi aparținînd aceleiași specii, reprezintă varianta-tip sancționată de

procesul de selecție naturală ca fiind corespunzătoare adaptării spectrului de indivizi ai speciei (grupați pe submulțimi de populații) la spectrul de condiții ale mediului în care specia își poate continua existența ca populații în biocenoze. Global, ca produs, programul genetic constituie un *verdict* rezultat din interacțiunea proceselor naturale din mediu cu procesele naturale dirijate din formațiile active, acționînd ca indivizi ai speciei organizați în populații și biocenoze. Acest verdict este pronunțat ca urmare a unui proces lipsit de finalitate prin selecție naturală. „Ființa vie reprezintă de bună seamă execuția unui proiect, pe care însă nici o inteligență nu l-a conceput. Ea tinde către un scop, pe care însă nici o voință nu l-a ales" [1]. Programul genetic reprezintă concentrarea într-o structură informațională a selecției naturale nefinaliste a unui ansamblu de interacțiuni substanțiale, energetice și informaționale capabile să asigure local un proces contrapus și integrat mediului, existența unor formații active de un anumit tip, care realizează dirijat atît propria existență, cît și reproducerea unui program identic (ca specie) în generația următoare. Înscris în molecula de ADN, programul genetic este o „pecete", o simplă „urmă" pînă cînd nu sînt întrunite condițiile necesare ca întreg ansamblul de interacțiuni substanțiale, energetice și informaționale, să se pună în mișcare. Programul genetic reprezintă o stare potențială, care se pune în acțiune, se realizează în interacțiune cu mediul. Pentru ca programul genetic să se realizeze, condițiile de mediu trebuie în mod necesar să se afle într-o anumită plajă de valori, adică să reprezinte o variantă dintr-o mulțime de variante posibile. Realizarea însăși a programului genetic nu este absolută. Acesta se modelează în realizarea sa prin interacțiune cu mediul; el se autocontrolează și se autoorganizează în funcție de condițiile concrete din mediu, avînd un caracter cu atît mai puțin stereotip și mai pronunțat plastic, cu cît ne ridicăm pe scara evoluției spre speciile superioare. Din acest punct de vedere, omul reprezintă vîrful evoluției, „organismul absolut" [2], specia care depășește necesitatea oarbă a adaptării biologice, prin faptul că a trecut la adaptarea sistematică

[1] François Jacob, *Logica viului*, Edit. enciclopedică română, București, 1972, p. 24.

[2] N.S. Dumitru, *Magistrala progresului istoric. Biosferă și sociosferă : continuitate și salt*, Edit. politică, București, 1975, p. 25.

a mediului la necesitățile organismului, ale populației și ale speciei în cadrul societății. Intrat în acțiune, programul genetic devine program-comandă, care generează informația-comandă potrivit structurii sale și informației suplimentare obținute în cadrul interacțiunii informaționale. Sub acest aspect, el nu se deosebește cu nimic de orice altă interacțiune informațională, desfășurînd în cadrul realizării sale toate momentele acesteia. În ansamblu, însă, el reprezintă puntea de legătură dintre totalitatea interacțiunilor universale lipsite de finalitate și interacțiunile din lumea viului, caracterizate prin teleonimie, prin finalitate. Ca urmare a unui proces natural, în interiorul lumii viului este acumulată informația necesară despre ansamblul interacțiunilor formație activă — mediu, necesare desfășurării de către formația activă a procesului local antientropic și a generării prin urmași de noi procese locale antientropice.

În legătură cu informația genetică, în cadrul discuției noastre ne mai interesează încă două aspecte din punctul de vedere al caracterului de „activ" al formațiilor pe care le considerăm, adică al formațiilor vii. Aceste două aspecte sînt „comportarea" formației active față de propriul său program genetic și cîte ceva despre modul în care au loc modificările în programul genetic.

Cercetările la nivel biofizic și biochimic (genetica moleculară) au pus în evidență prezența unor mecanisme de „corectare" a erorilor care intervin în codul genetic în procesul reproducerii celulelor. De exemplu, în procesul reproducerii, spirala macromoleculei de ADN este „pipăită" de patru enzime, care controlează dacă reproducerea a avut loc corect și, în caz de eroare, corectează zona respectivă, refăcînd lanțul potrivit structurii inițiale. Numai astfel se explică numărul mic al mutațiilor care au efectiv loc; fără un astfel de proces, datorită numărului imens de reproduceri ce se desfășoară într-un organism cît de cît mai evoluat, aceasta s-ar dezorganiza repede, datorită acumulării „erorilor de program". Aspectul care ne interesează pe noi constă în aceea că formația activă este activă și în raport cu propria informație genetică și că ea acționează pentru păstrarea acesteia din urmă, deoarece conservarea programului îi permite continuarea existenței de formație activă, ca un tot, ca atare, integrală. Deși mult mai puțin frecvente, mutațiile intervin totuși și, în ultimă instanță, acumularea lor este cea care duce,

pare-se, la epuizarea resurselor biologice ale organismului, la moarte(!).

În ceea ce privește mutațiile care intervin în programul transmis urmașilor am aminti doar că transmiterea programului prin gene gata constituite reprezintă latura conservatoare a procesului de reproducere, în timp ce circulația informației genetice, prin combinatorica sexuală sau prin alte căi (de exemplu, la bacterii, prin circulația plasmidelor [1]), asigură variabilitatea necesară în reproducere, variabilitate care dă naștere „lărgimii" spectrului urmașilor. Modificarea genelor, mutațiile, constituie unul dintre mecanismele prin care apar noi variante de program genetic (altul este, de exemplu, „cuplarea" de noi fragmente la lanțul de ADN gata constituit). Dintre noile variante se selectează natural, aposteriori formele viabile, înțelegînd prin aceasta formele care dau variante de program și deci de structuri mai adaptate spectrului de condiții concrete ale mediului unde trăiește populația în cadrul căreia au apărut mutațiile respective. Mutația reprezintă momentul fizic al modificării. Ca urmare, apare o nouă variantă posibilă, o altă structură, un alt chip *(pattern)* de interacțiuni, o altă comportare, în particular un alt mod de realizare al interacțiunii informaționale. După cum structura astfel apărută se dovedește a fi sau a nu fi adaptată condițiilor concrete din mediu, ea rămîne sau piere; în felul acesta se realizează verdictul selecției naturale, „înregistrat" în noul program genetic. Programul genetic constituie un mod de acumulare a experienței istorice din lumea viului. Al doilea mod de acumulare a experienței îl constituie sistemul nervos, determinat de primul mod și totodată relativ independent de acesta, cu atît mai independent cu cît specia este mai sus pe scara evoluției.

Să rezumăm. Odată cu apariția formațiilor active, adică odată cu apariția unor formații care reușesc să-și mențină în mod activ o structură specifică ordonată în cadrul acțiunii spontane dezorganizatoare a mediului, a apărut și o formă specifică de interacțiune, interacțiunea informațională.

Ca orice interacțiune, cea informațională este și interacțiune energetică. Aspectul energetic trece însă pe planul al doilea, cantitățile de energie din interacțiunile informaționale, deci care „poartă" interacțiunea informațională, fiind mici

[1] D.M. Goldfarb, *Bakterialnîie plasmidî, ili ghennaia injeneria v prirode*, în „Priroda", 1976, nr. 1, p. 18—26.

în raport cu acelea din procesele care asigură nemijlocit existența ca atare a formației active.

Interacțiunea informațională constă esențialmente în înlăturarea unei nedeterminări, în obținerea răspunsului la starea de așteptare a formației active față de ceea ce se va întîmpla; ea realizează încontinuu trecerea pentru formația activă de la starea „ce-ar putea să fie" la starea „a fost", fiecare „a fost" deschizînd un nou „ce-ar putea să fie". Interacțiunea informațională implică pentru formația activă cel puțin trei momente fundamentale: *momentul fizic* — stabilirea a ceea ce a fost din ce-ar fi putut să fie, *momentul cognitiv* — realizarea semnificației a ceea ce a fost în lumina a ceea ce se știa deja, și *momentul pragmatic* — realizarea semnificației a ceea ce a fost în lumina a ceea ce se intenționează să fie. Teoria matematică statistică a informației studiază procesele informaționale pe latura momentului fizic, făcînd abstracție de momentele cognitiv și pragmatic.

Izbutind să realizeze un model fizico-matematic al interacțiunii informaționale, teoria informației a elaborat o măsură a cantității de informație purtată de un factor prin măsura nedeterminării înlăturate de evenimentul produs de acest factor.

Corpul teoretic construit de teoria informației oferă nu numai o bază științifică solidă pentru elaborarea rațională a mijloacelor tehnice informaționale, în special a mijloacelor de transmitere a informației, ci și un ansamblu de idei și relații cu largă rezonanță într-o mulțime de domenii, inclusiv în cel al studiului modului de desfășurare a proceselor din creier.

Din punctul de vedere al modului în care formațiile active naturale sau artificiale realizează momentul fizic al interacțiunii informaționale, nu se pot afirma, cel puțin în primă instanță, deosebiri esențiale. Orice formație activă pusă într-o interacțiune informațională extrage dintr-un cîmp informațional dat o cantitate de informație proporțională cu nedeterminarea pe care o înlătură realizarea interacțiunii respective.

Rămîne însă deschisă problema raporturilor dintre formațiile respective în realizarea semnificației cognitive și pragmatice a cantității de informație obținute, pe de o parte, și a modului de comportare față de cîmpul informațional, față de sursa de informație, pe de alta. Rămîne de asemenea deschisă problema determinării posibilităților (și limitelor) formațiilor active artificiale de a genera informație struc-

turată (de exemplu opere de artă) altfel decît în calitate de instrumente, precum și cea a valorii acestora ca instrumente de creație.

Răspunsul la aceste întrebări — un răspuns argumentat — îl putem afla numai după ce vom urmări toate aspectele principale implicate. Și-l vom afla corect, credem noi, în măsura în care toate aspectele analizate vor fi integrate într-un punct de vedere unitar, firul central de legătură constituindu-l faptul că procesele de informare și de prelucrare a informației au apărut cu necesitate și s-au dezvoltat ca atare din însuși modul de a fi al vieții.

IV. REFLECTARE ȘI CUNOAȘTERE

Realizarea momentului fizic al interacțiunii informaționale — stabilirea variantei care a avut realmente loc din mulțimea variantelor posibile, adică „aflarea faptului brut" — inițiază desfășurarea momentului următor al interacțiunii informaționale, moment pe care l-am numit cognitiv. Orice *cunoaștere* presupune un aflux de date, după cum orice obținere de date presupune o cunoaștere prealabilă. Aceasta constituie o latură fundamentală a dialecticii procesului interacțiunii informaționale, interacțiune care se desfășoară în spirală, fiecare nou aflux de date determinînd ceea ce numim o îmbogățire, o adîncire a cunoașterii, adîncire care, la rîndul ei, deschide capacitatea și potențializează obținerea de noi date. Începuturile spiralei „se pierd", ontogenetic și filogenetic, în adîncurile proceselor care au dus mai întîi la apariția formațiilor active și în continuare la evoluția acestora pe linia unei continue creșteri în complexitate.

Momentul cognitiv constă în interpretarea faptului brut în lumina experienței acumulate, în realizarea *semnificației* informației. Realizarea semnificației implică două fațete ale unuia și aceluiași act: prima, *semnificarea* a ceea ce s-a întîmplat în mediu și a *consecințelor* posibile pentru *activitatea* și *existența* formației active; a doua, *semnificarea* a ceea ce s-a întîmplat în mediu pentru *reprezentarea* pe care o avea anterior formația activă despre ceea ce s-ar fi putut întîmpla în mediu, semnificarea celor întîmplate în raport cu „imaginea" anterioară despre mediu. În cadrul momentului cog-

nitiv, moment al realizării semnificației, aceste două fațete formează un tot unitar. Din prima latură a momentului cognitiv se desprinde momentul următor al interacțiunii informaționale, *momentul pragmatic*, cel în cadrul căruia se realizează valoarea informației și care conduce la *decizie* și la *acțiune*; din cea de-a doua se constituie *procesul reflectării*, elaborarea unei imagini a realului, a unui „decupaj" în real, care constituie reflectarea acestuia în formația activă.

Reflectarea realului în formația activă conduce la formarea unui nou plan în existență, a ceea ce a fost numit planul reflectării active, care a evoluat pînă la constituirea planului ideal. Ca atare, ca existent, acest plan este, desigur, un element al realului. Specific însă, *acest nou plan este un produs al interacțiunii dintre o parte a realului, constituită ca formație activă, și realul în contact cu formația respectivă*; el constituie un produs specific al activității sistemului nervos, al activității creierului, dacă ne referim la formele evoluate de reflectare și lăsăm pentru detaliere considerarea diferitelor trepte premergătoare și antemergătoare apariției creierului în general, a creierului uman în particular. Produs specific al activității creierului, procesul reflectării constituie o funcție de bază a creierului, funcție cu atît mai dezvoltată, cu cît acesta din urmă aparține unei formații active mai complexe pe scara evoluției biologice, funcție care devine calitativ deosebită la om. De aici decurge, desigur, ca un moment esențial al tematicii pe care o dezbatem, analiza raporturilor creier uman — creier artificial din punctul de vedere al capacității acestora de reflectare, pentru a pune în evidență ce anume ar fi comun și ce este specific acestui proces în cele două sisteme. Pentru aceasta însă va trebui în prealabil să încercăm să trecem în revistă elementele de bază ale problematicii reflectării.

Reflectarea realului în formația activă constituie elaborarea unei reproduceri (prelucrate, nu fotografice) a lumii exterioare. *Reflectatul* constituie elementul obiectiv, elementul independent de formație, *reflectantul* elementul activ, formația activă constituită ca o specificitate, iar rezultatul acțiunii reflectatului asupra formației active constituie *reflectarea*. Ca atare, reflectarea se constituie întotdeauna ca o sinteză, în cadrul căreia sînt îmbinate elementele provenite din real într-un ansamblu specific formației active care separă, compară, selectează, raportează și resintetizează. Reproducerea depinde și *de ce* anume se reflectă și *de cine* anume

reflectă. Ceea ce constituie *esențialul* procesului de reflectare din cadrul interacțiunii informaționale este tocmai *caracterul activ* al acestui proces și, drept urmare, *caracterul activ al reflectării*, caracterul de *produs elaborat* al acesteia. Reflectarea care rezultă din interacțiunea informațională nu este pecete, ștampilă, nu este, figurativ vorbind, nici măcar fotografie (deși aceasta implică deja alegerea cadrului, a unghiului de prindere, a rezoluției etc.); ea este „extras", „decupare", dacă vreți „desen", „pictură" — imagine elaborată. Dar, dacă reflectarea ca proces activ este o caracteristică a formațiilor active, dacă reflectarea ca proces activ, de analiză, raportare și sinteză, nu o întîlnim decît în lumea viului (valabilă fiind și propoziția inversă: oriunde avem materie vie, constatăm procese de reflectare active), nu este mai puțin adevărat că, în general, întreaga realitate manifestă proprietatea de „a oglindi" unele în altele diferitele sisteme care interacționează, această „oglindire"[1] nefiind altceva decît o consecință a interacțiunii generale a proceselor realului. Această „oglindire" a unor sisteme, a unor procese în altele, prin care primele sisteme lasă o urmă, o pecete și își imprimă caracterele proprii în caracterele celorlalte sisteme, o vom denumi *reflectare pasivă*, preferînd acest termen celui de reflectare elementară. Aceasta din două motive: primul, deoarece în felul acesta accentul cade pe *trăsătura-cheie* care distinge *reflectarea ca proprietate generală a realului* de reflectarea ca proprietate specifică a viului, caracterul *pasiv* sau *activ* al acesteia; al doilea, pentru că, în cadrul disjuncției proprietate generală — proprietate a viului, folosirea termenilor reflectare elementară — reflectare superioară îngreuiază disjuncțiile ulterioare în domeniul reflectării specifice a lumii viului (reflectare care și ea prezintă numeroase niveluri, mergînd de la un nivel prim, elementar la nivelul de maximă complexitate cunoscut pînă astăzi, reflectarea superioară, caracteristică speciei omului actual). În felul acesta putem ocoli și clasificările, altfel inevitabile, de tipul „reflectare superioară elementară".

Prima problemă care se pune este prin ce se deosebește reflectarea pasivă, reflectarea ca proprietate generală a materiei, de interacțiune în general, iar a doua care sînt legăturile și raporturile dintre reflectarea pasivă și cea activă

[1] „Oglindire" nu înseamnă copie; o oglindă concavă dă o altfel de imagine decît una plană sau convexă.

specifică viului. Este evident că în cadrul oricărei interacțiuni, prin însăși esența interacțiunii, un proces îl influențează pe celălalt, fiecare din procesele care interacționează determinîndu-se prin interacțiune atît pe sine, cît și pe celălalt. Putem vorbi însă de reflectare doar în interacțiunile în care fiecare dintre sistemele materiale care intervin *rămîn în esență ca atare,* reflectarea constituind reproducerea *în altă formă* a caracteristicilor unui sistem în caracteristicile celuilalt sistem. Fundamental în reflectare este deci în primul rînd faptul că în cadrul acesteia are loc o *interacțiune slabă,* în sensul că fiecare dintre sistemele care interacționează rămîne în esență el însuși, numai anumite caracteristici ale unui sistem fiind influențate de unele caracteristici ale celuilalt sistem. O interacțiune puternică duce la modificări esențiale cel puțin ale unuia dintre sistemele materiale, care, datorită interacțiunii respective, încetează să mai existe ca atare și trece în altceva. Rezultatul unei astfel de interacțiuni depășește reflectarea *stricto sensu.* Prin urmare, din infinitatea interacțiunilor dintre diferitele sisteme materiale se disting, ca fiind de un tip aparte, interacțiunile care au caracterul menționat mai sus: reproducerea în altă formă a caracteristicilor unui sistem în caracteristicile altuia, cu păstrarea nealterată în cadrul interacțiunii a sistemelor respective ca atare. În cadrul unor *astfel* de interacțiuni, fiecare proces se desfășoară în esență potrivit propriei structuri, interacțiunea cu celălalt avînd drept rezultat doar o „modulare" a decurgerii procesului, „modulare" care constituie apariția urmei, a pecetii interacțiunii (și, ca atare, *reflectă* proprietățile sistemului care a condus la modularea dată și nu la alta).

În ceea ce privește raporturile dintre reflectarea activă caracteristică viului și reflectarea pasivă ca proprietate generală a realului se pot distinge în primă instanță trei momente.

Primul moment: reflectarea activă constituie o treaptă, e drept calitativ deosebită, dar totuși o treaptă a proprietății generale a reflectării. Cu alte cuvinte, reflectarea activă prezintă proprietăți (laturi) noi în raport cu reflectarea ca proprietate generală, dar ea nu poate avea proprietăți (laturi) care să contravină caracteristicilor fundamentale ale celei dintîi, altfel ele nu ar fi forme diversificate ale reflectării în general, ci calități deosebite. În consecință, caracteristicile fundamentale ale reflectării ca proprietate generală (interacțiune slabă și reproducere în altă formă a unor

proprietăți externe sistemului care le reflectă) le vom regăsi în toate formele superioare de reflectare.

Al doilea moment: reflectarea activă a devenit și este posibilă numai datorită existenței reflectării pasive ca proprietate generală. Formația activă, pentru a rezista cu succes ca atare sub acțiunea dezorganizatoare a mediului înconjurător, este nevoită, în interacțiunea cu mediul, să aibă o reacție dirijată, coordonată cu influențele acestuia. Dar o reacție dirijată implică posibilitatea analizei și a raportării rezultatelor reacției la influențele mediului. Pentru efectuarea acestor pași, singura cale eficientă posibilă este utilizarea unor interacțiuni care, fiind suficient de slabe pentru a nu modifica natura sistemelor aflate în interacțiune, altfel spus suficient de slabe pentru a asigura integritatea, conservarea formației active ca atare, reproduc totuși într-o formă oarecare modificările mediului exterior; cu alte cuvinte, singura cale posibilă pentru realizarea reflectării active este utilizarea reflectării pasive.

Al treilea moment: reflectarea activă, oricît de dezvoltată ar fi ea, este totdeauna „purtată" de o reflectare pasivă. Reflectarea activă ia naștere printr-un proces de prelucrare a reflectării pasive, care, astfel prelucrată, constituie la orice nivel suportul material al reflectării active. În cursul elaborării, transmiterii și prelucrării reflectării active, suportul material al acesteia, reflectarea pasivă, poate lua diferite forme, poate trece dintr-o formă în alta. În acest proces, reflectarea activă capătă o *independență relativă* față de reflectarea pasivă care o poartă, în sensul că una și aceeași reflectare activă poate fi purtată în chip deosebit de diferite procese de reflectare pasivă, fizică; unul și același cîntec, de exemplu, este „purtat" de vibrațiile aerului, de modulația curentului din circuitul microfonului, de oscilațiile electromagnetice emise în spațiu de antena postului de radioemisie, de modificările curenților din diferitele blocuri electronice ale receptorului, de vibrațiile paletei difuzorului, de vibrațiile aerului din cameră, de vibrațiile timpanului, ale oaselor urechii, ale lichidului urechii medii, de impulsul din nervul acustic, de modificările electrochimice din țesutul nervos al centrului auditiv care realizează „auzirea" cîntecului, adică tocmai procesul care constituie pentru formație o reflectare activă.

Reflectarea ca proprietate generală există și independent de existența interacțiunii informaționale, în timp ce aceasta

din urmă există numai cu condiția existenței celei dintîi. Reflectarea pasivă constituie materialul brut din a cărui prelucrare sau elaborare ulterioară apare relația informațională.

O scurtă trecere în revistă a modului în care reflectarea pasivă este folosită în cadrul interacțiunii informaționale ne va permite să punem mai puternic în lumină legătura dintre latura fizică a interacțiunii informaționale și latura sa propriu-zis informațională.

Să considerăm pentru început transmiterea informației cu mijloace electronice și să începem cu legătura prin fir, și anume cu telegraful. Ne vom referi la binecunoscuta schemă clasică; mijloacele moderne au dezvoltat și au rafinat sistemul, însă principiile au rămas aceleași. Se știe că, atunci cînd se apasă pe cheia de transmisie telegrafică, pe fir se transmite un impuls de curent electric. La capătul receptor al firului, acest impuls atrage, prin intermediul unei bobine pe care o magnetizează, acul inscriptor, care, după cum impulsul a avut o durată mai lungă sau mai scurtă, înscrie pe hîrtie o dungă mai lungă sau mai scurtă, așa-numitele semne „linie" sau „punct". Dacă considerăm acum firele telegrafice ca mediul prin care are loc legătura informațională, constatăm că în tot timpul existenței lor firele rămîn ca atare, neschimbate (nu ne referim, desigur, la uzură). Ceea ce se modifică în cadrul interacțiunii este *starea* acestora, în particular o *anumită* stare a acestora, și anume aceea de a fi sau nu sub tensiune electrică, de a purta sau nu curent electric. Prin urmare, interacțiunea informațională este „purtată" de anumite procese specifice din sistem, în acest caz trecerea (sau lipsa) la un moment dat a curentului. „Punctul" este pe rînd o apăsare scurtă pe cheie, un impuls scurt de curent care comută canalul pe o durată dată dintr-o stare în alta, atracția de scurtă durată a bobinei, urma scurtă lăsată pe hîrtie; toate sînt reflectări pasive și fiecare determină în momentele respective, prin starea pe care o iau, semnalul transmis. Dacă legătura nu se face prin fir, ci prin spațiul liber, „purtătorul" semnalului este cîmpul electromagnetic. Fiecare post de emisie emite în spațiu o oscilație electromagnetică sinusoidală a cărei variație în timp este descrisă de o lege de tipul $u_p = A \sin(\omega t + \varphi)$ (fig. 12 *a, b, c*). Transmiterea unui program de radio are loc în felul următor: microfonul transformă vibrațiile aerului în variații corespunzătoare ale curentului electric din circuitul în care este inclus (fig. 12,

b). Acest curent este folosit, la rîndul lui, pentru a modula amplitudinea oscilației electromagnetice emise de post în spațiu prin antenă (modulație de amplitudine) (fig. 12, *c*). Oricît ar părea de banală comparația, prin antenă „se tri-

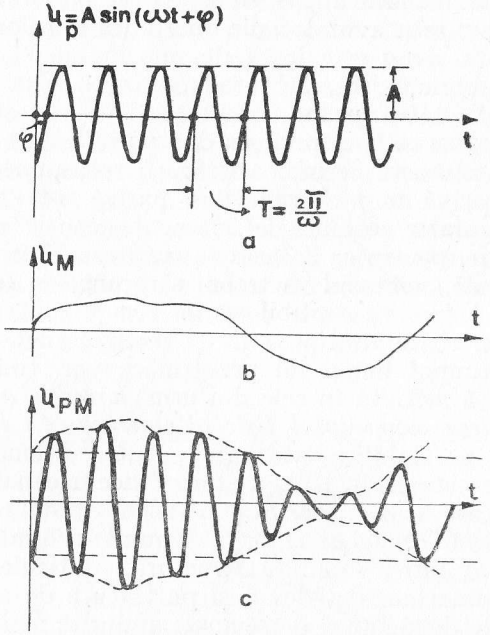


Fig. 12 — Modularea (*c*) în amplitudine a „purtătoarei" $u_P(a)$ de către semnalul $u_M(b)$.

mite" în spațiu un „cal cu un călăreț", adică oscilația purtătoare modulată. Acordînd postul de recepție pe un anumit post, „permitem" intrarea „calului" acelui post în circuitul de intrare al aparatului receptor, care execută, în mare, operațiile inverse de la emisie: din variațiile amplitudinii oscilațiilor recepționate obține curenții care poartă în variațiile lor semnalul recepționat, iar la rîndul lor acești curenți acționează asupra paletei difuzorului, care „reface" vibrațiile aerului și în felul acesta sunetul emis din cine știe ce colț al Pămîntului este ascultat în cine știe ce alt colț al acestuia. Ceea ce dorim să subliniem sînt următoarele aspecte: *prezența imanentă, am spune pas cu pas, în cadrul interacțiunii informaționale a reflectării pasive,* semnalul fiind purtat de diferitele *stări* ale sistemului purtător; *trecerea de la un sistem la*

altul, de la un purtător la altul, făcută de diferitele dispozitive care imprimă variațiile unei mărimi fizice pe variațiile altei mărimi fizice. Aceste dispozitive capătă denumirea generală de traductoare (asupra lor vom reveni). Interacțiunea informațională se realizează *pas cu pas* prin stabilirea *pas cu pas* a stării care a avut loc din mulțimea stărilor posibile; semnalul este și nu este legat de reflectarea pasivă, adică fără aceasta el nu există, dar totodată el este relativ independent de reflectarea pasivă concretă de care este purtat, cu condiția doar ca transpunerea dintr-o reflectare în alta să fie definită. Această cerință a definirii transpunerii dintr-o reflectare pasivă în altă reflectare pasivă este impusă de prezența, figurativ vorbind, de „eminență cenușie" a *formației active,* la care, pentru ca aceasta să realizeze efectiv legătura informațională, semnalul va trebui să ajungă în forma și în modul care-l face susceptibil să fie recepționat de ea; cu alte cuvinte, toate transpunerile și modificările suferite de semnal în timpul lungii lui peregrinări vor trebui să fie astfel încît să permită în cele din urmă *formației active receptoare realizarea momentului fizic al interacțiunii informaționale,* și anume stabilirea variantei — informațional vorbind sau, ceea ce este echivalent, a stării fizice a canalului, fizic vorbind — care a avut loc. Starea fizică a sistemului poate suferi schimbări în fel și chip, însă numai schimbările care se încadrează într-o anumită structură, particulară pentru formație, numai acestea devin și purtătoare de semnal.

Între cele două tipuri de semnale amintite mai sus (semnalul telegrafic și cel radiotelefonic) există o deosebire importantă, pe care trebuie s-o subliniem: *semnalul telefonic* reprezintă o transpunere *continuă* a mărimii fizice inițiale (mărimile respective sînt legate, matematic vorbind, printr-o funcție care ia valori din aproape în aproape, iar un astfel de semnal este numit *semnal analogic,* deoarece constituie un „mulaj" al mărimii pe care o reprezintă); *semnalul telegrafic* (curentul) poate lua însă, după cum am văzut, două valori discrete: *curent nominal* și *curent zero;* un astfel de semnal, care poate lua doar valori distincte bine stabilite, a fost numit *semnal discret,* el reprezentînd mărimea inițială de transmis nu prin „mulaj", ci prin reprezentare simbolică, mărimea inițială fiind transmisă printr-un *cod*[1]. Codul este dat de

[1] Cînd un cizmar ia măsura piciorului, el obține un semnal analogic; cînd un croitor ia măsurile, el obține un set de numere, un semnal discret, care reprezintă codificat conturul corpului.

ansamblul simbolurilor folosite (în cazul particular, grupările de puncte și linii) și de ansamblul regulilor de punere în corespondență a simbolurilor cu mărimea de transmis. În transmiterea informației, în interacțiunea informațională intervin simultan ambele aspecte: punerea în corespondență a mărimii de sesizat, de transmis cu simbolul care s-o reprezinte și realizarea fizică a reflectării pasive care să întruchipeze simbolul de transmis. În cadrul teoriei semnalelor se arată că orice semnal analogic real poate fi reprezentat cu o eroare oricît de mică printr-un semnal discret corespunzător ales. Cu alte cuvinte, alegerea transmiterii unui semnal sub formă analogică sau discretă este determinată de considerente tehnice, economice etc. În principiu, semnalul cu ajutorul căruia se transmite variația unei mărimi oarecare poate fi ori analogic ori discret, oricare din cele două moduri putînd asigura preluarea, transmiterea și recepționarea informației cu gradul de precizie cerut[1]. Semnalul continuu din figura

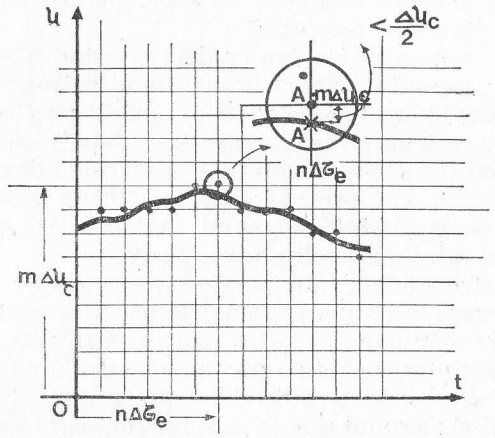


Fig. 13 — Conversia *analog-digitală* a unui semnal; valoarea semnalului A este dată prin două numere, m și n, care înlocuiesc pe A cu A'.

13 poate fi transmis, așadar, fie analogic, prin „mulaj" unei mărimi fizice dintr-un proces, mărime care să urmărească cu gradul de precizie dorit variația mărimii de transmis (de

[1] În general, considerentele de ordin fizic fac ca semnalele discrete să poată asigura o precizie mai mare ca cele analogice în prelucrarea și prelucrarea informației.

exemplu intensitatea curentului dintr-un circuit să fie proporțională, „să urmărească" temperatura dintr-o incintă oarecare), fie discret, eșantionat și cuantizat. În acest din urmă caz se transmit doar valorile din momente discrete de timp (operația eșantionării), distanțate între ele în timp cu $\Delta\tau_e$, $\Delta\tau_e$ fiind pasul eșantionării, iar valorile respective sînt „rotunjite" la nivelul cel mai apropiat (operația cuantizării), ΔU_c fiind treapta de cuantizare; astfel, valoarea A din momentul $n\Delta\tau_e$ este „rotunjită" la valoarea $A^* = m\Delta U_c$, nivelul cuantificat cel mai apropiat. Transmiterea valorii A revine la transmiterea a *două numere*: n, care indică poziția în timp, și m, care indică mărimea în amplitudine, pasul în timp, $\Delta\tau_e$, ca și cel în amplitudine, ΔU_c, fiind cunoscute. Pentru un grad de precizie impus, teoria informației permite stabilirea valorilor *maxime* admisibile pentru $\Delta\tau_e$ și ΔU_c; cu alte cuvinte permite să se stabilească cît de densă trebuie să fie mulțimea de valori discrete, șirul de numere, cu ajutorul căreia se transmite semnalul analogic pentru ca acesta să poată fi refăcut de receptor[1].

Din cele spuse pînă acum credem că rezultă suficient de clar că în procesul realizării interacțiunii informaționale are loc simultan un dublu proces fizic: acel al punerii în corespondență a mărimii care constituie „data", elementul de cunoscut, cu o anumită structură a mărimii fizice care s-o reprezinte, și acela prin care se constituie însăși această structură, se realizează semnalul; aceste două procese, în sinteza lor, formează reflectarea pasivă.

Să urmărim acum cum se desfășoară aceste procese în sistemul nervos. Se știe că semnalele nervoase sînt transmise prin fibrele nervoase. Acestea sînt constituite din celule nervoase, neuroni, care au o porțiune centrală cu mai multe prelungiri, *dendritele*, și prezintă o prelungire filară, *axonul* (fig. 14 *a* și *b*); axonul are, la om, lungimi care variază între o fracțiune de milimetru și un metru, iar grosimea fibrei nervoase este cuprinsă între 1 și 20 microni (un micron este o miime de milimetru). Transmiterea semnalului are loc printr-un proces electric, altul însă decît cel folosit în transmisiile electrice elaborate de om. În repaus, celula nervoasă

[1] Pasul maxim în timp, $\Delta\tau_e$, este dat de teorema lui Kotelnikov (teorema eșantionării), iar pasul maxim în amplitudine, ΔU_c, de nivelul zgomotului (astfel ca „rotunjirea" valorii eșantionate să rămînă în domeniul de nedeterminare al valorii inițiale, domeniu care depinde de zgomotul prezent în sistem).

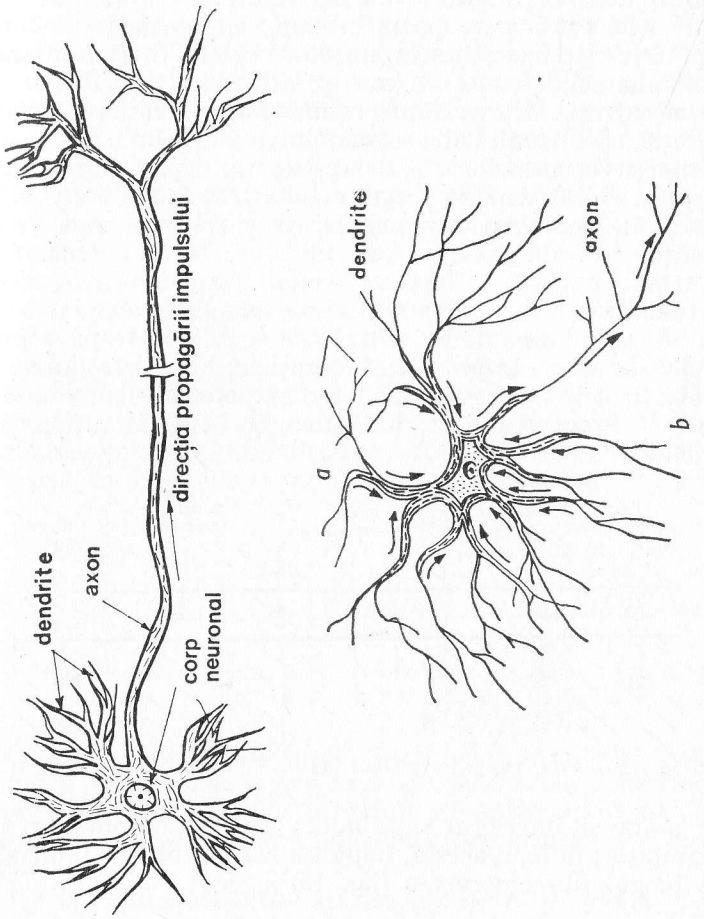


Fig. 14 — (*a* și *b*). Neuronul.

se încarcă la un potențial electric de circa 70 mV (milivolți). Diferența de potențial se realizează cu „plusul" în afară, datorită unui mecanism specific membranei, numit „pompa de ioni", care menține în exteriorul celulei o concentrație de ioni de sodiu de circa 10 ori mai mare decît concentrația acelorași ioni în interiorul celulei. Corespunzător, datorită polarizației care apare pe membrană, concentrația de ioni de potasiu este mai mare în interiorul celulei decît în afară. Membrana celulei este cea care păstrează această diferență de concentrație. Starea celulei rămîne neschimbată pînă cînd excitația care rezultă din ansamblul semnalelor pe care ea le primește la intrările sale, dendritele, nu depășește un anumit prag. Odată depășit pragul, celula trece în stare de excitație și, în locul respectiv, membrana își schimbă rapid proprietățile pe o durată de circa o milisecundă. În acest interval, membrana permite ionilor de sodiu să pătrundă în interior și ionilor de potasiu să treacă în afară, schimbînd astfel potențialul de membrană de la —70 mV la + 20 mV. După aceea membrana revine la proprietățile inițiale, ionii de sodiu sînt expulzați, cei de potasiu readmiși și potențialul revine la —70 mV. Procesul amintit determină, la rîndul lui, un proces asemănător în porțiunea de nerv alăturată, circulația ionilor

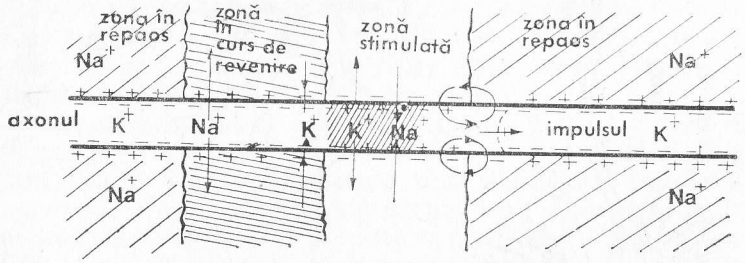


Fig. 15 — Propagarea impulsului nervos de-a lungul axonului.

spre afara și interiorul membranei constituind un curent de excitație; în felul acesta, impulsul care rezultă se propagă de-a lungul fibrei nervoase (fig. 15)[1].

[1] Mecanismul descris se referă la axonul fără înveliș de mielină. La acesta din urmă, procesul este în esență asemănător, particularitatea care intervine ducînd doar la mărirea vitezei de propagare (pentru amănunte vezi I. Baciu, *Cum funcționează creierul*, Edit. „Dacia", Cluj, 1974, p. 41—60, sau I. Asimov, *The human brain*, Signet S.L.B., New York, 1963, p. 112—138).

Structura celulei nervoase, a neuronului, este mai complexă și asupra ei vom reveni. Aici ne-am oprit numai asupra mecanismului propagării semnalului de-a lungul axonului, semnal care are, după cum am văzut, o structură electrică și discretă.

Cîteva lucruri merită să ne rețină atenția. Mai întîi, că și aici semnalul este constituit de trecerea sistemului dintr-o stare în alta (din starea cu potențial de —70 mV la cea cu potențial de +20 mV), sistemul ca atare nemodificîndu-se, cu alte cuvinte și aici semnalul este purtat de o reflectare pasivă. Mai departe, în sistemul nervos, semnalele au structură discretă (fig. 16), sau, mai exact, cel puțin o parte a semnalelor posedă o astfel de structură (starea actuală a cunoștințelor nu permite nici să se afirme nici să se nege existența și a unor semnale electrice de tip analogic pur)[1]. Prezența însă indubitabilă a unor semnale discrete indică existența informației sub formă codificată. Despre structura acestui cod, sau coduri, în prezent nu se știe practic nimic. O serie întreagă de experiențe arată posibilitatea excitării nervilor *direct* prin semnale electrice din exterior sau prin acțiuni chimice, altele decît cele constatate în funcționarea normală a organismului, dar aceste excitații au caracter global de punere în funcțiune a unui subsistem întreg al sistemului

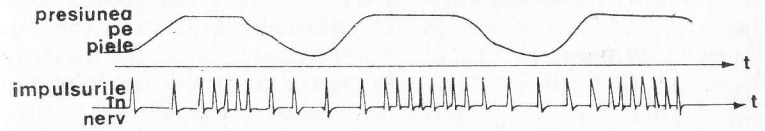


Fig. 16 — Semnalul nervos electric: frecvența impulsurilor nervoase crește cu creșterea excitației.

nervos și nu de intrare specifică codificată pe o „cale". Asupra acestor aspecte vom reveni cînd vom lua în considerare structura creierului uman și structura creierilor artificiali. Aici ne-a interesat să arătăm că analiza *experimentală* a proceselor

[1] Faptul că neuronul generează impulsul electric pe axon numai dacă la intrările sale apar anumite combinații de semnale cu caracter de depășire de prag indică prezența unei structuri discrete și codificate a semnalelor. Faptul că șirul de impulsuri generat este modulat în frecvență indică un semnal discret-analogic. Trecerea semnalului prin sinapse se face, după cunoștințele actuale, sub formă analogică. Semnale cu caracter analogic pur apar a fi cele transmise de sistemul umoral sau cele de comandă ale sistemului umoral de către cel nervos (neurotransmițătorii).

care decurg la nivelul nervului în funcționarea sa de „cale de semnal" pune în evidență cunoscutele trăsături ale interacțiunii informaționale, și anume caracterul de interacțiune slabă; caracterul de constatare a realizării unei variante dintr-o mulțime de variante posibile; dependența și totodată relativa independență a semnalului de procesul fizic care-l realizează caracterul simultan fizic și formal al semnalului.

Să considerăm acum procesele care au loc într-o formație activă monocelulară, bineînțeles numai în măsura în care aceasta ne ajută să întregim imaginea pe care vrem să ne-o facem despre interacțiunea informațională. Vom cita din François Jacob: «Mica celulă bacteriană nu este deci o simplă colecție de specii moleculare închise într-un sac și supuse legilor statistice care dirijează elementele pur și simplu alăturate și independente unele de altele. Este necesară o rețea de comunicație pentru informarea constituenților, situați la distanță unii de alții la scară atomică, și pentru a comanda activitățile speciale în funcție de interesul general și de scopul comun[1]... Coordonarea activităților chimice ale celulei presupune pornirea sau, dimpotrivă, oprirea lanțurilor de reacții în raport cu condițiile prezente... Rigiditatea consemnelor prevăzute în programul genetic este corectată prin suplețea informațiilor privind situația locală, starea sistemului și natura mediului. Acest dialog între ceea ce trebuie făcut și ceea ce se face determină în orice clipă activitatea fiecărui constituent... Aceasta impune ca organelor executoare să le fie asociate în scopul dirijării lor o serie de organe de percepție, capabile „să sondeze" lumea exterioară... Acest rol revine unor proteine, zise de reglare... Putem spune că aceste proteine reprezintă structuri cu două capete: primul dă proteinei posibilitatea de a recunoaște o anumită specie chimică..., al doilea contribuie la fixarea unui compus total diferit care modifică configurația proteinei, prin aceasta schimbînd proprietățile primului capăt. După cum acest compus este sau nu prezent, după cum el atinge sau nu o anumită concentrație în celulă, proteina oscilează între două stări: activitate și nonactivitate... El acționează oarecum ca un semnal chimic pentru a pune proteina în poziția „pornire" sau „oprire"...

[1] Imaginea de „calculator", atît de mult folosită de F. Jacob, și exprimarea antropomorfică nu trebuie să ne inducă în eroare asupra naturii specifice a proceselor din celulă; în ansamblul lucrării citate, lucrurile sînt puse în relief în mod clar, deși citatul luat separat ar putea să ne lase în această privință altă impresie.

Ceea ce conferă valoarea acestor interacțiuni este faptul că ele sînt eliberate de principalele constrîngeri care apasă asupra reacțiilor chimice... Ele nu pun în joc decît energii de activare slabe sau nule... Asemenea sisteme binare funcționează la toate nivelele metabolismului pentru a-i coordona diversitatea »[1].

Prin urmare, după cum s-a convins probabil cititorul, și la acest nivel elementar de formație activă în lumea viului, interacțiunea informațională este prezentă cu trăsăturile ei specifice de interacțiune energetic slabă, de interacțiune purtată de o reflectare pasivă, de interacțiune care există ca atare numai în prezența unei formații active ca urmare a existenței acesteia ca atare, de interacțiune în care se constată realizarea unei variante din mulțimea unor variante care ar putea să aibă loc. Formația activă „recunoaște" varianta care a avut loc (momentul cognitiv!), ia o „decizie" potrivit cu „valoarea" variantei care a avut loc (momentul pragmatic) și trece la acțiune potrivit acestei valori. Am pus ultimele elemente ale interacțiunii informaționale la bacterie între ghilimele pentru a sublinia caracterul lor arhielementar, pentru a preveni împotriva antropomorfizării. Elementul principal însă care trebuie subliniat este prezența interacțiunii informaționale *ca un tot*, cu toate trăsăturile ei fundamentale la formele cele mai simple ale viului[2]. Numai că la bacterie cele trei momente ale interacțiunii sînt contopite într-un singur act: proteina „constată" prezența unui anumit zahăr prin faptul că molecula acestuia se potrivește cu structura spațială a proteinei respective, „intrînd" într-o

[1] François Jacob, *Logica viului*, Edit. enciclopedică română, București, 1972, p. 305 și urm.

[2] Nu discutăm aici formele de „trecere" de la neviu la viu, cum ar fi virusurile, pe care unii autori le consideră forme ale viului, iar alții nu. De exemplu, biologul F. Jacob nu le consideră ca forme ale viului, întrucît le lipsește „ceva" pentru a constitui o specie biologică, iar chimistul L. Pauling ca forme ale viului, întrucît au „ceva" în plus pentru a putea fi considerate doar o specie chimică. Virusul este constituit *fie* dintr-o moleculă de ADN (acid dezoxiribonucleic), *fie* dintr-una de ARN (acid ribonucleic), învelită într-un strat subțire de proteină. Ca atare virusul nu se poate reproduce decît într-o celulă vie în care parazitează, participînd la ciclul acesteia de reproducere (care implică prezența atît a ADN, cît și a ARN). În cadrul celulei el intervine în programul genetic al acesteia, deci participă la interacțiunile informaționale.

„adîncitură" a acesteia[1] (reflectare pasivă), o „recunoaște" deoarece numai o astfel de moleculă și nu alta se potrivește în „adîncitura" respectivă, îi stabilește „valoarea" după cum un alt „capăt" al proteinei a fost „sesizat" că există sau nu există produsul care ar rezulta din descompunerea moleculei de zahăr; în primul caz descompunerea este „inhibată", în al doilea interacțiunile care intervin între molecula de zahăr și polimerul proteinei duc la desfacerea celei dintîi și obținerea unor produși care vor fi preluați de alte proteine prezente în celulă și incluse în lanțul celor circa 2 000 de reacții care constituie metabolismul bacteriei. Putem remarca, dacă ne-am permite să ne exprimăm antropomorfic, că în același act sînt contopite și momentul „deciziei" și cel al „practicii".

După cum vedem, la toate nivelurile la care s-a studiat *în concret* interacțiunea informațională s-au regăsit aceleași trei momente fundamentale ale acesteia: fizic, cognitiv și pragmatic. Din cele prezentate credem că se conturează pe deplin motivele pentru care primul moment, cel al realizării informației, a fost denumit momentul fizic: realizarea informației constă în realizarea reflectării pasive purtătoare de informație, reflectare care, ea, este proces, strict vorbind, fizic (în sensul pe care-l are în cadrul a ceea ce numim fizică, spre deosebire de alte științe). De aceea ne apare neexplicabilă poziția unor autori care pun problema necesității elaborării în viitor a unei teorii „fizice" a informației: „Teoria fizică a legăturii informaționale se va ocupa cu condițiile care permit să se stabilească o legătură prin semnale și nu valoarea de cunoaștere a acestor semnale"[2]. „Fizica informației", în sensul în care o cer autorii respectivi de studiu a „condițiilor care permit să se stabilească o legătură prin semnale", este demult elaborată și continuă să se dezvolte. „Fizica informației" în sensul de mai sus este astăzi o teorie bine constituită, și anume ca teorie a semnalelor și circuitelor, care se ocupă cu studiul folosirii reflectării pasive,

[1] Proteina este sintetizată în cadrul chimiei celulare prin legarea cap la cap într-o anumită ordine a unor radicali aleși dintr-un grup de douăzeci de radicali, sinteză prin care se obține un polimer liniar, format din sute de unități simple, din monomeri. Complexitatea spațială a proteinei se naște din „plisarea" lanțului, ale cărui sinuozități conferă suprafeței moleculei un relief foarte neregulat și specific.

[2] V. Săhleanu, *Știința și filozofia informației*, Edit. politică, București, 1972, p. 70; I. Irimie, *Reflectare și informație*, în *Materialismul dialectic și științele naturii*, Edit. politică, București, 1965, p. 556.

ca purtătoare de semnal, cu studiul modificărilor *fizice*, în primul rînd *de formă* ale procesului fizic de reflectare pasivă folosit drept purtător al informației. Teoria semnalelor și a circuitelor studiază procesele din circuite din punctul de vedere al capacității acestora de a transmite informația, adică de a semnala alegerea variantei care a avut loc. Teoria semnalelor și a circuitelor se referă tocmai la condițiile fizice în care are loc realizarea informației, a interacțiunii informaționale, și de aceea acest moment al interacțiunii a și fost numit momentul fizic. Interacțiunea informațională depășește însă acest prim moment fizic. Integrarea reflectării pasive într-o interacțiune informațională dă naștere reflectării active. Reflectarea activă apare odată cu constituirea formației active, consecință și totodată condiție de constituire a acesteia. Dezvoltarea pe linia creșterii în complexitate a formațiilor active a dus și la constituirea unui organ specific de elaborare a reflectării active, la formarea și la dezvoltarea creierului.

Urmărind evoluția viului pe Pămînt putem distinge cel puțin trei etape mari, trei niveluri fundamentale în cadrul reflectării active.

Viul se constituie odată cu apariția formației active care „se contrapune" mediului. Această contrapunere trebuie să fie înțeleasă dialectic: formația activă, *viața*, constituie *un sistem* care se contrapune *autodirijat* proceselor spontane dezorganizatoare ale mediului, fiind totodată *integrat mediului*, întrucît toate funcțiile formației, toată existența acesteia constă într-un permanent schimb substanțial și energetic cu mediul, schimb dirijat cu ajutorul interacțiunii informaționale a formației active cu mediul[1].

Considerăm necesar să schițăm aici, așa cum le vedem noi, cîteva coordonate ale acestei „contrapuneri", privind lumea viului din unghiul care ne interesează, și anume al dezvoltării sistemului nervos, al apariției creierilor și al funcțiilor acestora. De aici rezultă că ne vom referi, mai întîi, la dezvoltarea viului numai pe linia evoluției regnului animal, singurul în cadrul căruia apare sistemul nervos și creierul, iar în al doilea rînd la contrapunerea formației active considerată ca individ, deoarece acesteia îi este asigurată de către

[1] „... Viața este unitatea a trei fluxuri: a celui substanțial, a celui energetic și a celui informațional" (V.V. Frolkis, *Starenie i biologhiceskie vozmojnosti organizma*, Izd. „Nauka", Moskva, 1975, p. 156).

sistemul nervos și, în particular, de către creier acțiunea coordonată cu mediul și cu starea proprie.

Fiecare individ în parte constituie o structură foarte complexă în raport cu mediul și, ca atare, termodinamic improbabilă. În virtutea legilor fizicii, fiecare individ „formație activă", dacă și-ar desfășura procesele spontan (în sensul fizicii), s-ar îndrepta spre echilibrarea cu mediul, s-ar dezorganiza, trecînd spre stări cu mai mare probabilitate. *Contrapunerea* semnifică tocmai că procesele nu se desfășoară spontan (în sens fizic), ci *dirijat*, pe linia compensării desfășurării spontane a proceselor, pentru conservarea ca atare[1]. Iată de ce existența „formației active" implică „contrapunerea", care se desfășoară moment de moment în tot cursul vieții formației active; mai mult, aceasta își modifică dirijat însuși modul de acționare, pentru a compensa cît mai mult chiar procesul de îmbătrînire[2]. „Contrapunerea", considerată în raport cu individul, prezintă, după noi, trei niveluri, fiecare dintre ele incluzîndu-l pe cel premergător. Înainte însă de a schița aceste idei vrem să precizăm că unghiul de vedere de mai sus se conjugă cu sistemica biologică: individ, populație, specie, biocenoză, biosferă. Fiecare individ, fiecare „formație activă" se contrapune mediului potrivit speciei căreia îi aparține dar și individualizat, potrivit experienței proprii rezultate din condițiile concrete de mediu, deci și în funcție de populație, de biocenoză și, mai larg, de biosferă.

Spuneam mai înainte[3] că din punct de vedere termodinamic formația activă constituie un agregat de faze[4] în contact cu alt agregat de faze, mediul, înțelegînd prin „contact" simultan un *schimb* între agregate și un neechilibru termodinamic între ele. În fapt, contactul dintre agregatul de faze, care constituie „formația activă" cea mai simplă, ființa monocelulară, și mediu este asigurat de o structură specifică a acesteia, *membrana*. De aceea *primul nivel de contrapunere* a formației active față de mediu poate fi caracterizat pe scurt prin apariția *membranei*, a acelui înveliș celular, care prezintă

[1] Desigur și procesele dirijate se desfășoară conform legilor fizicii; am văzut însă că local, printr-o acțiune de dirijare, entropia se poate micșora (sau menține scăzută ori încetini creșterea) pe seama creșterii entropiei în alt loc.

[2] V.V. Frolkis, *op. cit.*, p. 253: „.... La baza însăși a îmbătrînirii biologice sînt incluse mecanisme îndreptate spre mărirea duratei vieții".

[3] Vezi p. 41.

[4] Pentru „agregat de faze" vezi nota de la pagina 25.

proprietăți de mare specificitate în ceea ce privește permeabilitatea (trecerea diferitelor specii chimice din și înspre interiorul celulei); apariția membranei[1] este, ca să spunem așa, simultană cu apariția *reflectării active* elementare și cu *coordonarea elementară a funcțiilor* în cadrul ființei monocelulare. Am văzut că, în esență, reflectarea activă pentru formația activă monocelulară este constatarea prezenței sau absenței în mediu a unui produs dat, iar constatarea aceasta are loc, ca să ne exprimăm figurat, prin „potrivire": molecula substanței respective, ea și numai „ea se potrivește" în „adîncitura" din suprafața macromoleculei proteinei specifice care o „detectează". Cu alte cuvinte, la acest nivel al reflectării active elementare, aceasta are loc prin prezența nemijlocită a elementului reflectat în formația activă; mai mult, și „informația-comandă" ia tot forma unei prezențe nemijlocite în formație a unor compuși chimici, care determină pornirea sau oprirea diferitelor procese[2].

Al doilea nivel, *a doua contrapunere*, cum am numi-o noi, se ivește odată cu apariția formațiilor active multicelulare, în cadrul cărora are loc, pe de o parte, specializarea celulelor și constituirea acestora în țesuturi și organe specializate și, pe de altă parte, coordonarea activității acestora, încît pe ansamblu totalitatea celulelor constituie un organism, care se contrapune mediului ca un tot în sensul în care am vorbit mai sus. Acest al doilea nivel de contrapunere l-am caracteriza pe scurt prin apariția *pielii*, pentru a ne referi iarăși la o structură specifică ce separă ființa de mediu.

Pe scara dezvoltării viului, organismele multicelulare prezintă un număr imens de varietăți, am zice de „soluții". Ceea ce reține atenția odată cu creșterea complexității, a diferențierii și a specializării celulelor este constituirea unui *mediu intern* al formației active, „ascunderea" organelor specializate ale acesteia înspre interiorul formației, apariția

[1] Pînă în prezent nu se cunoaște prea bine nici structura membranelor, nici procesele care le conferă acestora proprietățile lor specifice.

[2] Sistemul de dirijare prin produși chimici s-a dezvoltat pe toată scara viului. La plante el a rămas unicul, iar la animale s-a diversificat în diferite sisteme complexe, inclusiv în constituirea sistemului umoral, subsumat sistemului nervos. Interacțiunea dintre sistemul nervos și cel umoral se face prin intermediul unor produși chimici specifici (neurohormoni) care pun în mișcare sistemul umoral, ai căror produși influențează, la rîndul lor, și funcționarea sistemului nervos. În prezent s-a descoperit că cel puțin anumite reglaje în cadrul unei populații dintr-o specie oarecare se efectuează tot prin intermediul unor produși chimici.

unui întreg complex de mecanisme automate care mențin acest mediu într-o plajă destul de îngustă de variație a parametrilor ce-l caracterizează, cu toate variațiile sensibil mai mari ale parametrilor corespunzători mediului extern formației. Ceea ce desparte formația de mediu este un țesut specific, care reia la alt nivel funcțiile primare ale membranei delimitînd formația de mediu și menținînd-o totodată în contact, integrînd-o în mediu. Odată cu această creștere în complexitate structurală și funcțională a formației active, crește în complexitate și interacțiunea informațională a acesteia, atît pe linia formație-mediu, cît și pe linia coordonării interne (a proceselor din formație). Această creștere în complexitate va duce la apariția unei forme calitativ noi de reflectare, a reflectării active superioare.

Fără a intra în detalii, considerăm aici necesară și instructivă pentru tematica noastră urmărirea *momentelor principiale* ale evoluției formelor viului în regnul animal din punctul de vedere al reflectării active și al organelor care o realizează.

Odată cu creșterea în complexitate a formațiilor active și a apariției unor forme ale viului cu diferențiere și specializare internă din ce în ce mai puternică, apare și se dezvoltă sistemul nervos, a cărui funcție principială constă în asigurarea coordonării comportării atît a formației active în mediu, cît și a părților acesteia între ele în funcție de raportul fundamental formație-mediu. Apariția sistemului nervos a dus la formarea a trei grupe de organe specifice: a organelor de sesizare a modificărilor din mediu, traductoarele (organele de simț); a organelor de transmisie a informației de la organele de sesizare și spre organele de execuție; a centrilor de prelucrare a informației, centri care vor elabora propriu-zis reflectarea activă superioară.

Dacă ne referim la traductoare, vom constata dezvoltarea unor organe care răspund la o *prezență fizică directă* (mirosul, gustul), organe care decelează prezența diferitelor substanțe volatile sau solubile după mecanisme oarecum apropiate de cele prin care are loc sesizarea prezenței la niveluri elementare ale formațiilor active. De asemenea constatăm apariția unor traductoare, pe care le-am denumi *de prezență transpusă*, ca cele pentru pipăit, auz, văz, în care prezența fizică directă este sesizată transpus prin proprietăți mediate ale acestora.

Dacă ne referim la mecanismele de coordonare atît a mediului propriu, cît și cu mediul extern, constatăm, pe

lîngă dezvoltarea mecanismelor de dirijare prin „prezență", specifice formațiilor unicelulare — adică alături de dezvoltarea mecanismelor de dirijare prin hormoni, care pun în funcțiune sau inhibă diferite procese —, apariția organelor de transmisie nervoasă, în care apare un nou tip de semnal. Semnalul este aici un proces de o natură deosebită de cea a procesului pe care-l reprezintă. Acest proces se constituie ca semnal tocmai datorită faptului că, deși el posedă o natură fizică dată, mereu aceeași, de exemplu un șir de impulsuri electrice de-a lungul fibrelor nervoase, de fiecare dată semnifică prezența unui proces fizic sau a altuia tocmai prin *forma* sa, de exemplu prin *structura șirului* de impulsuri.

Dacă ne referim la apariția organelor centrale prelucrătoare ale informației, constatăm prezența unor creieri din ce în ce mai complecși, dintre funcțiile cărora se desprinde ca principală funcția elaborării reflectării active superioare. Reflectarea activă superioară constă în elaborarea unei imagini a mediului, a formației și a raporturilor mediu-formație, imagine care implică momentul esențial al *corelării*, al *raportării* imaginii la real. Ce anume a determinat apariția reflectării active superioare, sau ce anume a *făcut necesară* apariția acesteia?

Formațiile active relativ simple, monocelulare, își dirijează comportarea potrivit prezenței sau absenței în mediu a unor condiții date, realizînd, în ceea ce privește comportarea fiecărui „individ" în parte, un reglaj aposteriori[1]; la acest nivel nu se cunosc, cel puțin pînă în prezent, reglaje de preîntîmp inare a unor situații.

Apariția formațiilor active multicelulare din ce în ce mai complexe, constituirea la acestea a unui mediu intern propriu care asigură funcționarea țesuturilor și organelor specializate și, prin aceasta, a întregului organism ca un tot fac mult mai sensibilă și mai dependentă existența individului de capacitatea acestuia de a asigura *la timp* modificările și reacțiile necesare compensării efectelor schimbărilor intervenite în mediul exterior asupra condițiilor de existență ale formației. Cu alte cuvinte, creșterea în complexitate aduce după sine o relativă „fragilitate" a formației față de schimbările din mediu. Pentru a compensa această fragilitate mărită, formația activă trebuie să-și desfășoare activitățile de compen-

[1] Prin reglaj aposteriori înțelegem reglajul pas cu pas care are loc *în urma* evoluției situației (fără extrapolare, anticipare)!

sare ale variațiilor mediului *înainte* ca acestea să ajungă să se dezlănțuie pe deplin, înainte ca acestea să atingă niveluri care să pună sub semnul întrebării existența în continuare a formației active. Cu alte cuvinte, formația activă, odată cu creșterea în complexitate, trebuie să treacă de la un reglaj de tip aposteriori la un *reglaj cu prevenire*, cu preîntîmpinare; or, un astfel de reglaj este posibil numai dacă formația posedă o *imagine* a mediului, imagine care îi permite *să urmărească* prin fluxul de informație livrat de organele traductoare evoluția mediului, *să extrapoleze* pe baza experienței acumulate evoluția ulterioară a acestuia și să elaboreze în timp util comenzile corespunzătoare. Reflectarea activă superioară — imaginea „decupată" a mediului și a raporturilor acestuia cu formația activă — se constituie nu atît ca o imagine a trecutului, cît ca o imagine a „curentului" și ca o proiectare probabilă a trecutului în viitorul apropiat, imagine care prin raportarea sa la real dă posibilitatea formației active să-și coordoneze activitatea nu numai cu starea mediului, ci și cu *devenirea* acestuia. De unde și caracterul principal, fundamental al reflectării active superioare: adecvarea acesteia, corespondența sa cu realul și cu starea formației active în real. Problema adecvării merită o discuție aparte, pe care însă o vom putea desfășura doar după ce vom lua în considerare și treapta următoare în dezvoltarea reflectării active superioare, și anume reflectarea activă superioară conștientă. Aici vom menționa deocamdată că studiile făcute asupra structurii sistemului nervos al diferitelor animale arată fără putință de îndoială că acesta s-a dezvoltat și s-a format astfel încît asigură o reflectare a lumii externe potrivit cu necesitățile de existență ale individului din specia respectivă. Dintre studiile care au furnizat o cunoaștere științifică consistentă vom aminti aici pe cel referitor la sistemul vizual al broaștei, intitulat extrem de sugestiv: *Ce relatează ochiul de broască creierului de broască* [1]. Se știe că broaștele se hrănesc cu insecte aflate în mișcare, pe care le detectează numai cu vederea. În timp ce un obiect de dimensiuni relativ mari și aflat în mișcare le provoacă o reacție de fugă, obiectele lipsite de mișcare se pare că nu prezintă nici o semnificație pentru broaște (un obiect neanimat, fie el și o insectă moartă, nu le atrage atenția),

[1] Lettvin, Maturana, McCulloch și Pitts, *What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain*, în „Proc. IRE", an. 47, 1959, p. 1940—1951.

ele recunoscîndu-și prada, se pare, după următoarele trăsături: o anumită dimensiune, un anumit contrast (poate culoare) și deplasare. Studiile făcute asupra *structurii* sistemului nervos al broaștei au arătat că aceasta posedă în structura retinei cinci grupe de celule sensibile, uniform distribuite pe întreaga suprafață a acesteia, care răspund fiecare la alt stimul, și anume: prima grupă, așa-numitele celule detectoare de graniță, răspunde (adică trimite impulsuri nervoase spre creier) numai dacă există o graniță de trecere suficient de netă între două zone de iluminare diferită; a doua grupă răspunde de asemenea numai dacă există un contrast suficient între două zone de iluminare, dar numai dacă conturul prezintă o curbură cu aria mai întunecată convexă și dacă acest contur se deplasează sau s-a deplasat; a treia grupă răspunde numai la modificări intense de iluminare legate de deplasarea unei siluete în cîmpul vizual, răspunsul fiind cu atît mai puternic, cu cît conturul e mai net și se mișcă mai repede; a patra grupă răspunde numai la o întunecare generală a cîmpului vizual, nelegată de prezența sau de mișcarea vreunui contur; în fine, a cincea grupă, foarte rară și cu funcția cel mai puțin precizată, dă un semnal proporțional cu starea generală de iluminare. Axonii diferitelor celule se strîng în grupuri și fiecare grup se concentrează într-un anumit strat al creierului, cele cinci grupuri formînd patru straturi (axonii celulelor din grupa a cincea intră în același strat cu axonii din grupa a treia). Concluzia: retina broaștei nu transmite creierului o informație punct cu punct asupra distribuției zonelor luminoase și întunecate ale imaginii proiectate pe retină, ci o *analiză* a imaginii, efectuată după patru caracteristici: contrast local, curburi în mișcare, modificări de contrast și întunecare locală. Dacă trecem de la analiza structurii straturilor din creier, a modului cum sînt așezate aceste straturi și a legăturilor lor la analiza comportării broaștei putem conchide, fără a risca să greșim prea mult, că sistemul ei nervos realizează o „imagine" (am pus între ghilimele tocmai pentru a sublinia că nu este vorba de *o copie punct cu punct*) a lumii externe; ea constituie o reflectare superioară în termeni fundamentali pentru *existența* acesteia: un contrast puternic și local în mișcare semnifică insectă, pradă și provoacă saltul de prindere; un contur larg în mișcare însoțit de întunecare semni-

fică pericol (apropierea unei păsări de pradă) și provoacă saltul de retragere, de apărare.

Cele demonstrate de acest studiu pe un caz concret pun în evidență următoarea structură generală: reflectarea superioară elaborată de organul central nervos al individului unei specii este o decupare prelucrată a realității și anume astfel prelucrată, încît imaginea să fie adecvată condițiilor de trai ale individului, să-i asigure acestuia posibilitatea reglajului *cu prevenire* al comportării. Menționăm de asemenea că informația transmisă de organele traductoare centrelor de prelucrare nu este nici în cazul citat și nici în general o informație brută, neselectată, pe care organele centrale ar urma s-o selecteze. Selecția, alegerea și decelarea „da-nu"-urilor necesare începe la nivelul organului traductor, care, din acest punct de vedere, poate fi considerat ca făcînd parte din creier! *Nicăieri și niciunde sistemele care preiau informația nu o preiau „brută"*, sau, mai exact, în mod absolut brută; *întotdeauna informația obținută este un răspuns la o întrebare pusă*, iar întrebarea, însăși prin natura ei, *implică selecție*. În această selecție, care stă în însăși inima procesului pe care-l analizăm, rezidă caracterul activ al reflectării superioare.

În cursul evoluției viului pe Pămînt apare un nou moment, un nou nivel al reflectării, o *a treia contrapunere* cum am spune noi, în esență odată cu apariția speciei umane. Așa cum am caracterizat prima contrapunere prin apariția membranei și pe a doua prin cea a pielii, am caracteriza-o pe a treia prin apariția „casei", înțelegînd prin aceasta apariția situației în care viul trece prin reflectare conștientă de la adaptarea sa la mediu la adaptarea mediului la nevoile sale [1]. La scară biologică vorbind, acest proces are o durată

[1] Adaptarea mediului la nevoile indivizilor unei specii, adaptarea aloplastică, a apărut doar sporadic înaintea speciei umane, la alte specii (de exemplu vizuinele, mușuroaiele, stupii etc.). Adaptarea mediului la specia umană are însă loc *sistematic*, prin acțiune colectivă în cadru social, prin muncă cu ajutorul uneltelor și potrivit unor planuri *conștient elaborate*, care depășesc acțiunea instinctuală, genetic dirijată a animalelor. Partea din mediu astfel transformată devine, într-un anumit sens, parte din ființa umană, acesta fiind motivul pentru care pe scurt am desemnat această a treia contrapunere prin „casă", pentru a sublinia extinderea zonei termodinamic improbabile dincolo de piele ca limită a formației active, pentru a desemna cu un cuvînt crearea unei zone de mediu *artificial* în continuarea mediului propriu, natural (despre „natural" și „artificial" vom discuta în capitolul următor).

infimă [1], dar efectele lui sînt covîrșitoare, oricît am fi de modești în a compara pe *Homo sapiens sapiens* cu celelalte specii. Activitatea prin care a avut, are și va avea loc această însușire a mediului este *munca*. În cadrul acestei activități, reflectarea activă superioară suferă și ea un salt calitativ. Din reflectare activă superioară cu funcție de reglaj cu prevenire, ea devine reflectare activă superioară *conștientă*, devine înțelegere rațională a realului și a raportării individului la real, devine *autoînțelegere, conștiință de sine*. În procesul muncii, această reflectare se obiectualizează în *produsul muncii*. Deci nu numai activitatea transformatoare asupra mediului extern, ci și activitatea internă de reglaj a reflectării subiectului se obiectualizează în procesul muncii. În felul acesta, imaginea propriei activități interne proiectată în afară, obiectualizată, devine la rîndul ei obiect al reflectării. În creierul omului are loc de astă dată raportarea *reflectării* care s-a obiectualizat la reflectarea *obiectului* care a obiectualizat-o.

Conștiința de sine apare ca urmare a *dublei raportări* a omului la sine: ca *scop* (proiect) și ca *realizare* (obiectualizare a proiectului).

Procesul de care vorbim, trecerea de la adaptarea la mediu la adaptarea mediului prin muncă, este totodată împletit, printr-o reciprocă condiționare, cu procesul formării societății. *Homo sapiens sapiens* s-a constituit ca atare deoarece a devenit și este ființă socială [2]. În cadrul acestei formații a viului, poziția individului se modifică fundamental. Dintre multiplele aspecte care ar putea fi atinse, reținem în primul rînd pe cel care are o legătură nemijlocită cu tematica tratată aici: odată cu apariția omului apare ca *deplin constituit* un nou tip de interacțiune informațională, legătura prin semn, prin simbol, apare *limbajul*. Ca rezultat al existenței sale în cadrul societății, omul capătă informații nu numai asupra stării mediului înconjurător, ci și asupra reflectării acestui mediu în conștiința altor oameni cu care vine în contact. În cadrul circulației sociale a informației, omul ca-

[1] Apariția lui *Homo sapiens sapiens* a durat, după diverși autori, între 30 000 și 60 000 de ani (toată antropogeneza a durat 3—4 milioane de ani). Începuturile vieții pe Pămînt se admit a fi la nu mai puțin de 600 milioane ani în urmă.

[2] Cu privire la antropogeneză vezi, de exemplu, N.S. Dumitru, *Magistrala progresului istoric. Biosferă și sociosferă: continuitate și salt*, Edit. politică, București, 1975.

pătă, pe lîngă informația directă, și pe aceea indirectă, care reprezintă analiza imaginii prelucrate a lumii de către alți oameni. *Individul uman nu este numai un produs al eredității și nici numai un produs al experienței proprii, ci devine și un produs al experienței colective a generațiilor anterioare,* transmisă într-o măsură sau alta individului respectiv.

Să examinăm, pentru a completa analiza raporturilor informație—reflectare, raporturile reflectare pasivă—informație—reflectare activă în societatea umană, așa cum apar ele în cadrul legăturii prin simbol, prin semn, adică interacțiunea informațională cea mai complexă pe care o cunoaștem. Reflectarea activă superioară conștientă —imagine, afect, poezie, teorie, plan, melodie, formulă etc. — rămîne proprie creierului și conștiinței care au elaborat-o, intransmisibilă dacă nu este „materializată"; materializarea respectivă înseamnă, pe de o parte, descompunerea reflectării în elemente, alegerea pas cu pas a simbolurilor (litere, culori, sunete: aici n-are importanță care sînt elementele codului) și, pe de altă parte, crearea semnalului, a procesului fizic purtător al simbolurilor, al informației respective. Cu alte cuvinte, sursa, urmînd să transmită o reflectare activă, parcurge procesul în ordinea inversă celei pe care am văzut-o la receptor: pornind de la tot, de la semnificație, alege potrivit acestei semnificații simbolurile respective, întruchipează în informație, în mesaj — șir coerent de simboluri — reflectarea respectivă și apoi realizează momentul fizic al „materializării" în semnal, în procesul fizic, a mesajului respectiv [1].

Prin încheierea acestui proces, reflectarea superioară respectivă este materializată: este cîntec, statuie, text etc. Ca atare, obiectualizată, ca existență în sine, ea este doar urmă, pecete a acțiunii aceluia care a elaborat-o. Ca pecete, reflectarea superioară poate fi sesizată numai de receptorii pentru care ea nu constituie o simplă pecete, ci semnal purtător de informație. În fața unui text scris cu un alfabet necunoscut sau într-o limbă necunoscută, știm că ne aflăm în fața unui semnal și deci a unei informații și, mai departe, a unei reflectări active obiectualizate. Textul rămîne însă simplă pecete și nu semnal pînă cînd nu știm să-l interpretăm, adică nu știm cum să punem în corespondență structura concretă a peceții cu modul de organizare folosit în elaborarea ei. În posesiunea modului de organizare folosit, „transformăm" pecetea în semnal și informația căpătată în reflectare activă. *Reflectarea activă astfel obținută este și nu este aceeași cu cea inițială,* deoarece și ea, ca reflectare activă obținută prin prelucrarea unei alte reflectări superioare, este o sinteză între obiectul exterior — mesajul — și subiectul receptor; de data asta, în calitate de obiect al reflectării figurează reflectarea activă a altcuiva, exterioară subiectului receptor și în mod obligatoriu materializată. Prin urmare, și în cadrul interacțiunii informaționale celei mai complexe cunoscute, raporturile reflectare—informație rămîn aceleași. Informația intervine întotdeauna ca rezultat, ca produs al analizei, ca alegere între diversele posibilități, iar reflectarea activă ca produs al sintezei, ca integrare într-un tot închegat. Reflectarea pasivă intervine și ea în acest proces, deoarece în ultimă esență *toate* relațiile informaționale ale formațiilor active, inclusiv *Homo sapiens,* se fac prin intermediul organelor traductoare, sensibile la diferitele fenomene fizice utilizate ca semnale purtătoare de informație în afara organismelor. Elementul nou care intervine în cadrul acestei interacțiuni informaționale este următorul: cu apariția interacțiunii informaționale între formațiile active, cu schimbul de mesaje, a apărut răspunsul la o *prezență simbolizată,* deși organele traductoare continuă să lucreze *fizic* în același mod. În fond, ochiul lucrează în același mod, fie că vede (direct) un obiect, fie că vede (citește) descrierea acelui obiect. Interesant este că *reprezentarea prin semnal a apărut întîi în cadrul organismelor, în organizația lor internă,* ca transmitere prin semnal a informației recepționate spre centru și a comenzilor spre organele de execuție, și numai *ulterior în cursul evoluției a fost extinsă la interacțiunile externe ale formațiilor active, căpătînd o dezvoltare deplină și radical nouă odată cu constituirea speciei umane.*

Procesul acesta a schimbat radical atît conținutul, cît și sensul adecvării reflectării active superioare. Menționam mai înainte cînd relatam analiza sistemului vizual al broaștei că acesta extrage din lumea exterioară un tablou definit prin cîțiva parametri, ce-i asigură un mod de comportare în mediu prin care își mijlocește prelungirea existenței. Cu alte cuvinte, reflectarea („extrasul") este adecvată în sensul că în plaja dată de condiții de viață asigură existența individului și indirect a speciei. Studiind viața speciilor, cercetăto-

[1] Bineînțeles că procesele pe care le prezentăm ca o succesiune se desfășoară de multe, de foarte multe ori împletit, cu reveniri, cu retușări, cu precizări uneori simultane etc. Interesează însă momentele principiale.

rii consideră că un individ al unei specii date este cu atît mai „inteligent", cu cît face față unei plaje mai largi de condiții variate ale mediului, cu cît reflectarea superioară elaborată de individul respectiv (judecată de noi după comportare, deci după modul în care se încheie întreg procesul, inclusiv decizia și acțiunea) este mai elastică și răspunde mai adecvat la condițiile cele mai variate.

Dar, dacă la animale adecvarea are un caracter *implicit*, la om, pe măsura evoluției lui, aceasta a căpătat un caracter *explicit: Homo sapiens* este interesat în a căpăta o reflectare adecvată nu numai în sensul asigurării elaborării unei comportări corespunzătoare, ci a devenit interesat *să știe și cum sînt lucrurile în sinea lor*. Cu alte cuvinte, momentul cognitiv al interacțiunii informaționale, care inițial constituia o treaptă intermediară în procesul comportamentului (și care, în esență, a rămas și în continuare ca atare, *direct* sau *mediat*), se desprinde ca moment relativ independent, ca moment aparent în sine și pentru sine. Dar a cunoaște, a stabili adevărul înseamnă a stabili starea lucrurilor, esența lor, *cît mai independent* de proprietățile celui ce efectuează reflectarea. Și aici ne întîlnim cu dialectica procesului de cunoaștere, proces care, pentru a fi ca atare, trebuie să stabilească starea reflectatului „independent" de reflectant și care, totodată, prin însăși natura lucrurilor, nu poate fi niciodată *absolut* independent de reflectant, reflectarea fiind întotdeauna o sinteză, un produs al interacțiunii dintre reflectat și reflectant. În aceste condiții, adecvarea este măsura adîncirii procesului de „epurare" a conținutului reflectării de elementele reflectantului, de elementele subiectului, precum și de cele întîmplătoare, neesențiale ale reflectatului.

Creșterea adecvării reflectării, atît a stării lumii exterioare, cît și a stării proprii în conștiința omului este lungul proces, lungul calvar al desprinderii și constituirii activității de cunoaștere științifică din ansamblul activităților umane, din ansamblul funcțiilor creierului uman. Nu este cazul și nici nu putem schița aici acest proces, care s-a constituit treptat-treptat din necesități practice imediate, care s-a autonomizat, căpătînd pentru unii din afară chiar „iz" de activitate „gratuită" (în raport cu sensul pragmatic imediat) și care astăzi, datorită ponderii din ce în ce mai mari pe care o capătă prin consecințele sale, a devenit o activitate practică de prim plan. Esența acestui proces constă în constituirea unui tablou sintetic din masa informației obținute, din masa numeroaselor întrebări puse naturii. În prezent, în funcție de unghiul din care e prins, acest tablou seamănă uneori mai degrabă cu o imensă pînză albă, pe care sînt trasate doar ici-colo schițe sumare și numai puține sînt mai precise, mai consistente, iar din alt unghi, apare ca extrem de încărcat și de bogat, depășind posibilitățile de cuprindere ale omului luat ca individ.

Aici ne izbim de miezul problemei: omul s-a creat pe sine în procesul muncii. În cadrul acestui proces, omul și-a format mîna, această minunată unealtă universală de acțiune, și creierul, această minunată unealtă universală de dirijare și de îndrumare. Odată însă cu formarea mîinii, simultan sau aproape simultan, omul și-a prelungit mîna și a creat uneltele; tot simultan sau aproape simultan omul și-a prelungit și organele de preluare, stocare și transmitere a informației. Se pare astfel că prima prelungire a fost aceea a memoriei, întîi răbojul, pe urmă desenul, scrisul etc. În decursul dezvoltării ulterioare au fost prelungite văzul și auzul (nici unul din celelalte simțuri — nici mirosul, nici gustul, nici simțul tactil — nu a fost prelungit pînă în prezent). Prelungirea s-a făcut, pe de o parte, prin elaborarea de traductoare, care, folosind diferite tipuri de reflectări pasive, au lărgit mult sfera interacțiunii informaționale dintre om și mediul înconjurător și, pe de altă parte, prin elaborarea de căi de transmisie și de mijloace de stocare a informației. Prelungirea organelor traductoare a fost făcută pe linia evoluției biologice în continuarea și prin adîncirea a trei caracteristici fundamentale: *specializarea*, în sensul reflectării diferențiate a diferitelor acțiuni prin traductoare specializate; *sensibilizarea*, în sensul rafinării traductoarelor pe linia creșterii puterii de distingere a unor intensități din ce în ce mai mici ale diferiților factori de sesizat; *creșterea puterii de rezoluție*, în sensul creșterii capacității de distingere de variații din ce în ce mai mici ale mărimilor. Toate au condus la creșterea *capacității informaționale*, la mărirea fluxului informației, deoarece toate au dus la creșterea numărului de variante din care se face alegerea. Lucrurile au mers însă mai departe: pe o anumită treaptă de dezvoltare al cărei început impetuos îl trăiesc generațiile noastre, *Homo sapiens* a trecut de la prelungirea organelor receptoare, emițătoare, transmițătoare și de acumulare de informații la prelungirea *organelor prelucrătoare de informație*, la elaborarea automatelor, a mașinilor de calcul, *a creierilor artificiali*. Acești

„creieri" artificiali permit individului, printre altele, să manipuleze și să prelucreze „masive informaționale" care altfel ar fi absolut prohibitive prin timpul pe care l-ar cere pentru a fi prelucrate pe cale „naturală". Dezvoltarea furtunoasă a acestor „creieri" artificiali a și ridicat problema pe care o discutăm, aceea a raporturilor cu creierul uman.

Faptul că dispozitivele automate de prelucrare a informației — creierii artificiali — constituie „prelungiri" ale creierului uman se află în afara oricărei discuții. Problema constă în a stabili în ce măsură aceste dispozitive pot prelua *independent* funcțiile creierului uman și în ce măsură ele s-ar putea constitui *în sine* și *pentru sine*. Între aceste două etape, preluarea independentă a unor funcții și constituirea în formație autonomă activă în sine și pentru sine, distanța este enormă. Deși *în fapt* sîntem încă departe de a fi realizat pe deplin măcar prima etapă, discuția se poartă din plin referitor atît la prima, cît și la a doua etapă, și nu numai în cadrul unor articole de ziar „senzaționale". Este și această extrapolare a fiecărui pas cucerit o trăsătură psihologică specific umană, legată în parte de entuziasmul și de bucuria cuceririi, în parte de un „instinct războinic" de lărgire a teritoriului cucerit. Dar, după o spargere a frontului și o înaintare spectaculoasă, după euforia primei victorii, urmează întotdeauna munca grea a consolidării cuceririi și a „pipăirii" noului front. În problema pe care o discutăm sîntem, ca să spunem așa, la răspîntie. Unii mai trăiesc euforia primei cuceriri, alții încep să măsoare noile probleme sau, mai exact, să simtă cu adevărat greul problemei.

Să revenim însă. Procesul de relativă independentizare a momentului cognitiv al interacțiunii informaționale n-a fost pe departe unicul proces care a avut loc. Dimpotrivă. Din activitatea fundamentală a creierului, aceea de dirijare complexă a organismului pentru a răspunde prin comportament la problema fundamentală — e bine, e rău — pentru conservarea ca atare a organismului și reproducerea sa, nu s-a desprins, după cum spuneam, numai problema „Cum sînt oare cu adevărat lucrurile?". După cum bine se știe și nu este locul să insistăm aici, din utilitar s-a desprins o activitate la prima vedere esențialmente nepracticată: problema *frumos-urît, esteticul*. Mai mult, problema bine-rău în sens utilitar imediat a transgresat în problema *eticului*, a binelui și răului în numele a ceva, în problema apariției și constituirii unor *valori* de comportare care să depășească animalicul. Această dezvoltare a cunoașterii și a valorilor estetice și etice a fost însoțită de o furtunoasă dezvoltare a afectelor, care fiecare în parte a adus în lumea valorilor umane noi criterii de bine și rău. În relativa lor independență și în absoluta lor unitate, *toate* aceste activități sînt realizate de *creierul uman*; în afara cazurilor patologice, activitatea oricărui creier uman este simultan centrată pe o direcție de prim plan și global angajată în ansamblul direcțiilor.

La om, activitatea sistemului nervos a suferit, prin urmare, un salt dialectic, din subsumată activității întregului organism a devenit o activitate relativ independentă, o activitate relativ în sine și pentru sine; a trăi pentru omul actual nu mai semnifică numai realizarea proceselor fundamentale din organism pentru a-l conserva ca atare; pentru omul actual a trăi înseamnă simultan, și uneori chiar în primul rînd, satisfacerea necesităților intelectuale și afective, și ele legate de procesele nervoase superioare [1].

Cu cît ponderea acestor activități este mai mare (și ea crește îndeosebi în societatea socialistă prin accesul maselor la cultură, prin ștergerea, printre altele, a diferențelor dintre munca fizică și cea intelectuală), cu atît individul este mai sus pe scara activităților umane.

Analiza reflectării active și în particular a saltului calitativ prin care aceasta trece odată cu apariția speciei umane ne-a condus nemijlocit la momentul următor al interacțiunii informaționale, la momentul pragmatic și mai departe la decizie și acțiune, ne-a condus la luarea în considerare a scopului și a modului în care acesta se realizează. Deoarece analiza posibilităților creierilor artificiali trebuie făcută și din acest punct de vedere, pregătirea acestei analize ne obligă să trecem în continuare la considerarea finalității și a proceselor de reacție inversă.

Să rezumăm. Interacțiunea informațională apare ca urmare a necesității formației active de a-și dirija acțiunea coordonat cu modificările mediului, extern și intern. Realizarea interacțiunii informaționale se face prin folosirea unei proprietăți generale a materiei, reflectarea, care se mani-

[1] Toate așa-numitele „vieți închinate unor idealuri", toate privațiunile acceptate și toate jertfele aduse cu bună știință pentru realizarea unor idealuri, care nu sînt înfăptuite numai de personalități, ci și de marile mase, sînt martore ale celor afirmate!

festă în lumea neviului numai ca reflectare pasivă. Ca rezultat al interacțiunii informaționale în lumea viului apare, pe lîngă reflectarea pasivă, și reflectarea activă.

Reflectarea pasivă constituie o interacțiune slabă (în sens energetic), în cadrul căreia are loc reproducerea, în altă formă a caracteristicilor unui sistem în caracteristicile altui sistem, cu păstrarea nealterată în cadrul interacțiunii a sistemelor respective ca atare.

Rezultatul reflectării pasive îl constituie urma, pecetea, „modularea" desfășurării unui proces, potrivit caracteristicilor altui proces.

În cadrul interacțiunii informaționale, reflectarea pasivă constituie suportul purtător al informației, semnalul. Realizarea momentului fizic al interacțiunii informaționale îl constituie constatarea de către formația activă a ce anume variantă a semnalului a avut loc din toate cele posibile.

Momentul următor al interacțiunii informaționale, momentul cognitiv, constă în integrarea fluxului informațional din mediul extern și intern într-o imagine elaborată a realului, într-un „decupaj" al realului care constituie reflectarea acestuia în formația activă, reflectarea activă. Ca atare, reflectarea activă se constituie ca o sinteză, în cadrul căreia sînt îmbinate elementele provenite din real într-o închegare specifică formației active date.

Reflectarea activă este cea care mijlocește contrapunerea formației active în raport cu mediul, adică comportarea dirijată a formației active, astfel încît integrată în mediu să se păstreze ca atare, termodinamic improbabilă, în condițiile aleatorii ale mediului. Reflectarea activă constituie baza pentru realizarea semnificației stării formație-mediu (realizarea momentului pragmatic al interacțiunii informaționale) și pentru luarea deciziei.

Evoluția viului pe linia regnului animal prezintă numeroase forme, numeroase „grade" de extragere și elaborare de „decupaje" ale lumii externe, de reflectări active, în cadrul cărora pot fi distinse trei mari niveluri.

Nivelul elementar, reflectarea activă elementară, corespunde formațiilor active monocelulare, „contrapuse" mediului prin membrană și caracterizate, în esență, prin „selectivitatea chimică", comportarea fiind pornită și oprită de prezența sau absența unor substanțe, a unor specii chimice date, recunoscute ca atare, iar reglajul comportării fiind fundamental aposteriori.

Nivelul următor corespunde formațiilor active multicelulare, caracterizate prin constituirea unui mediu intern propriu, prezentînd pe linia evoluției filogenetice structuri interne din ce în ce mai puternic diferențiate, formații „contrapuse" ca un tot mediului prin învelișul exterior, prin piele. În cadrul mediului intern se constituie treptat sistemul nervos, ansamblu unitar format din organe traductoare, de transmisie și de prelucrare. Organul central de prelucrare elaborează după caracteristici specifice speciei, în parte și individului, un „decupaj" al mediului și al integrării formației active în mediu; astfel apare al doilea nivel, reflectarea activă superioară care mijlocește, în esență, o extrapolare pe date fundamentale pentru formația activă a evoluției probabile a mediului și pe această bază permite un reglaj cu prevenire.

Al treilea nivel este specific speciei umane și corespunde reflectării active superioare conștiente de sine. Aceasta apare ca urmare a trecerii de la adaptarea la mediu la acțiunea de transformare sistematică asupra mediului în vederea adaptării acestuia la necesitățile formației active, acțiune efectuată conform unui plan, prin muncă și prin folosirea uneltelor în cadrul unei organizări sociale. Ca urmare, în real se constituie un mediu artificial, și el termodinamic improbabil, „prelungire" a mediului intern; astfel se constituie un al treilea nivel de contrapunere, pe care l-am desemnat simbolic tot printr-un „înveliș", prin „casă".

În cadrul reflectării active superioare conștiente de sine, formația activă nu se raportează numai la mediu, ci și la sine, devine conștientă în raport cu mediul și cu sine. Simultan cu apariția gîndirii raționale, conștiente de sine, apare o lume calitativ nouă de trăiri afective, estetice și etice.

Apariția omului — mînă, creier, limbaj — se prelungește în creațiile sale: mîna în unelte și mașini; creierul în dispozitivele de prelucrare și stocare a informațiilor, în particular în creierul artificial, calculatorul electronic universal cu posibilitățile sale imense; limbajele naturale în limbajele artificiale.

Ca urmare a acestei dezvoltări a apărut problema granițelor, a posibilităților principiale și reale ale creierilor artificiali, problema posibilităților acestora pe funcții specifice —

limbaj, cunoaștere, artă, dirijare etc. — și mai ales a eventualelor posibilități integratoare ale acestora de a se constitui în adevărate creiere.

Cum însă funcția centrală a creierului uman continuă să rămînă procesul complex al acțiunii de dirijare prin care el asigură formației active posibilitatea conservării esenței ei de formație organizată și planificat organizatoare în condițiile acțiunii aleatoare, deci dezorganizatoare ale mediului, înainte de a trece la discutarea posibilităților creierilor artificiali mai trebuie să parcurgem, pentru a pune cîteva jaloane, unele probleme referitoare la reacția inversă și la finalitate.

V. REACȚIE INVERSĂ ȘI FINALITATE

Realizarea momentului cognitiv al interacțiunii informaționale — elaborarea „decupajului" specific despre starea mediului și a formației active însăși, elaborarea reflectării active — este îmbinată cu momentul pragmatic care-i succedă. Evaluarea situației constatate în lumina necesităților formației active este, într-adevăr, urmată de luarea deciziei, act care transgresează interacțiunea informațională propriu-zisă și care constituie trecerea de la informare la acțiune. Cu trecerea la acțiune, deci cu realizarea în mediu și asupra mediului, în formația activă și asupra formației active, a modificărilor decise, are loc împlinirea acțiunii *dirijate*, menită, după cum am subliniat de nenumărate ori, să asigure ceea ce am numit conservarea naturii formației active ca atare, conservarea acesteia ca formație *organizată*, mai mult ca formație *organizată într-un anumit fel* în condițiile acțiunilor dezorganizatoare ale mediului.

O caracteristică esențială a acțiunii dirijate, o caracteristică pe care urmează s-o discutăm în capitolul de față, o constituie *îmbinarea în lanț închis* a pașilor respectivi — interacțiune informațională, decizie, acțiune — , îmbinare prin care rezultatul executării deciziei, rezultatul *de facto* al acțiunii, devine la rîndul său obiect al unei noi interacțiuni informaționale.

Într-adevăr, realizarea de către organele efectoare a comenzilor primite duce la modificări ale stărilor, modificări care sînt un rezultat atît al acțiunilor dependente, cît și

al unor interacțiuni (sau acțiuni) independente de formația activă dată. Ca urmare, starea nouă realizată se apropie în mai mare sau în mai mică măsură de imaginea stării urmărite spre a fi realizată.

Reflectarea prin intermediul interacțiunii informaționale a acestor noi stări închide și reia procesul de la capăt, dezvoltarea acestui proces constituind însăși dirijarea. Nici o dirijare nu se poate realiza în plenul ei, eficient, fără această legătură inversă, sau, cum i se spune îndeobște în cadrul disciplinelor tehnice, fără reacție (inversă)[1]. Reacția inversă constă, în fond, în prezența acțiunii ieșirii unui sistem asupra intrării aceluiași sistem, adică acțiunea procesului asupra desfășurării procesului însuși. Într-adevăr, dacă se consideră un sistem oarecare, viu sau neviu, care, ca urmare a unei excitații externe, numită *mărime de intrare,* exercită în afară o acțiune oarecare, numită sintetic *mărime de ieșire,* și dacă, la rîndul ei, această mărime de ieșire acționează asupra intrării sistemului însuși, influențîndu-i comportarea, această acțiune a mărimii de ieșire asupra intrării se numește *reacție inversă* sau *legătură inversă.*

În continuare vom urmări pe cît este cu putință momentele principale ale evoluției viului, așa cum o cunoaștem pe Pămînt, pe linia regnului animal, pentru a putea să facem unele considerații asupra finalității, asupra comportării cu finalitate, cu referire în particular la procesele specifice creierului și pentru a putea pune pe această bază jaloanele necesare considerării „comportării cu finalitate" a roboților prevăzuți cu creieri artificiali.

În mod schematic, la modul cel mai general, lucrurile sînt reprezentate ca în figura 17, unde S reprezintă un sistem, X mărimea de intrare, iar Y mărimea de ieșire. În cazul din figura 17 *a*, mărimea X determină prin intermediul sistemului S apariția mărimii Y, legată de X simbolic printr-o expresie $Y = S(X)$, S reprezentînd tocmai *modul specific* în care sistemul S realizează acțiunea Y cînd este supus

[1] În cadrul disciplinelor tehnice, pentru „reacție inversă" se utilizează în mod curent pur și simplu termenul de „reacție". Cum în fizică și fiziologie termenul de reacție este folosit în fiecare dintre ele în alt sens, vom folosi termenul de „reacție inversă" *(feedback).* Nu vom recurge la termenul, dealtfel echivalent, de retroacțiune, pentru a evita fie și terminologic *sublinierea* laturii „acțiunii", și nici la cel de „conexiune inversă" și el echivalent, pentru a evita de astă dată sublinierea laturii structural constructive a sistemelor pe care le studiem.

excitației X. Un astfel de sistem este un sistem direct, deschis. În figura 17 *b* se vede însă că mărimea de la ieșire Y^*, suferind o transformare oarecare efectuată de un sistem β, apare și ea la intrare, astfel că mărimea *efectivă* care apare

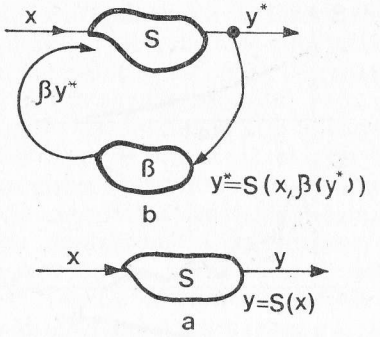


Fig. 17 — Într-un sistem cu reacție inversă mărimea de la ieșire acționează la rîndul ei asupra intrării. *a)* sistem fără reacție inversă; *b*) sistem cu reacție inversă.

la ieșire Y^* depinde de S, dar și de β, adică de modul în care mărimea rezultată la ieșire intervine la rîndul ei asupra comportării sistemului care o produce. În acest caz, relația dintre mărimi ia forma $Y = S[X, \beta(Y^*)]$, deci în sistem a apărut reacția inversă. Efectul final Y^* este un rezultat sinteză, este un rezultat determinat atît de excitantul extern X, cît și de modul în care efectul acțiunii sistemului intervine la rîndul lui asupra comportării sistemului însuși.

În principiu, această acțiune inversă poate fi de două feluri: ea poate fie *întări* acțiunea inițială, în care caz reacția inversă se numește *pozitivă,* în sensul că acțiunea reacției *se adună* la acțiunea inițială, întărind-o, fie *slăbi* acțiunea inițială, în care caz reacția inversă se numește *negativă,* în sensul că acțiunea reacției *se scade* din acțiunea inițială, slăbind efectele acesteia. Evoluția[1] sistemului în timp este esențialmente deosebită în cazul celor două moduri de reacție inversă, pozitivă sau negativă. Într-adevăr, dacă reprezentăm starea sistemului printr-o mărime oarecare S și urmă-

[1] Evoluție, aici și mai departe, în sens general și nu de evoluție biologică.

rim dependența acesteia în timp, comportarea în cazul reacției inverse negative va fi ilustrată în figura 18 *a* 1 și 2, iar în cazul reacției inverse pozitive în figura 18 *b 1* și *2*. Pentru exemplificare să admitem că în ambele cazuri exci-

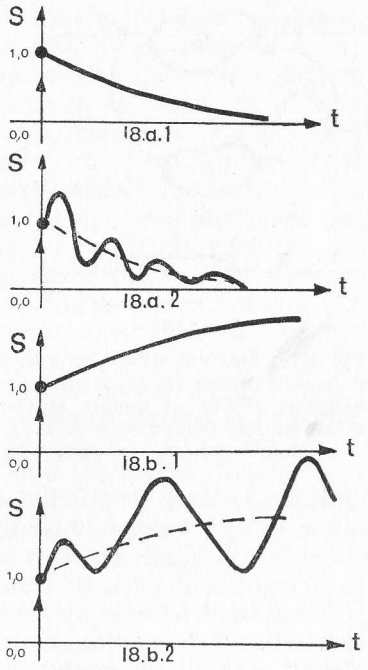


Fig. 18 — Diferite comportări posibile ale sistemelor cu reacție inversă sub acțiunea unui șoc de durată scurtă.

tantul extern X mută prin șoc, pentru un timp foarte scurt în raport cu constantele de timp proprii sistemului, starea acestuia din punctul 0,0 în punctul 1,0[1].

[1] Această „mutare" presupusă riguros pe verticală, adică într-un timp infinit de mic, în timp zero, reprezintă, desigur, o idealizare: orice *trecere reală implică* în fapt un anumit *timp necesar* pentru îndeplinirea trecerii, timp influențat în cazul solicitării foarte rapide presupuse de gradul de inerție al sistemului; în cazul nostru, această idealizare nu deranjează, întrucît ceea ce urmărim este să punem în evidență deosebirile de comportare în sistemele de reacție inversă pozitivă sau negativă *după* șocul inițial, *datorate* tocmai deosebirii de *sens a reacției inverse*.

În sistemul cu reacție inversă negativă, sub acțiunea șocului apare o rezultantă care are asupra intrării sistemului o acțiune de sens contrar celei a șocului inițial; drept urmare, sistemul tinde să se întoarcă spre starea inițială[1]. Cît de *aproape* și *în ce mod se întoarce* (fără oscilații, ca în figura 18 *a 1*, sau cu oscilații, ca în figura 18 *a 2*) depinde de structura sistemului și de relațiile cantitative care îi determină comportarea; esențial este însă că reacția inversă negativă determină *întoarcerea* sistemului sau, mai exact, *tendința de întoarcere* a sistemului la starea inițială preexistentă șocului. În acest sens se spune că reacția inversă negativă prezentă într-un sistem contribuie la stabilizarea stării acestuia, îi conferă o comportare mai puțin sensibilă la influențele externe: ea contribuie la întoarcerea sistemului spre zona stării din care acesta a fost scos de excitația externă.

În sistemul cu reacție inversă pozitivă, sub acțiunea șocului apare o rezultantă care are asupra intrării sistemului o acțiune de același sens cu șocul inițial; drept urmare, *sistemul tinde să se îndepărteze și mai mult* de starea inițială. Cît *de mult* și cum *se îndepărtează* (fără oscilații, ca în figura 18 *b 1*, sau cu oscilații, ca în figura 18 *b 2*) depinde iarăși, desigur, de structura sistemului și de relațiile cantitative care îi determină comportarea; esențial este însă că reacția inversă pozitivă determină *îndepărtarea* sau, mai exact, *tendința de îndepărtare* tot mai puternică a sistemului de starea inițială preexistentă șocului[2]. În acest sens se spune că reacția inversă pozitivă prezentă într-un sistem *dinamizează* comportarea acestuia la influențele externe, creează în sistem tendința de autoambalare a acestuia, de automișcare (autoambalare, deoarece șocul inițial dă naștere altuia de același

[1] Desigur, prezența reacției inverse negative nu este obligatorie pentru ca un sistem să evolueze după un șoc în sensul întoarcerii spre zona stării anterioare șocului. Dacă această tendință există deja în sistem, constituirea unei bucle (sistemul fizic de legătură prin care mărimea de ieșire este întoarsă și făcută să acționeze asupra intrării se numește *buclă*) de reacție inversă negativă o întărește; dacă această tendință nu există în sistem, ea se instituie ca urmare a constituirii în sistem a unei astfel de bucle. Subliniem că este vorba de constituirea unor *tendințe* a căror amploare de realizare depinde de proprietățile fiecărui sistem în parte.

[2] Remarcăm și aici cele spuse în nota anterioară: sistemele pot să nu revină în starea inițială, pot evolua spre altă stare ca urmare a unui șoc și fără prezența unei bucle de reacție inversă pozitivă. Prezența unei asemenea bucle imprimă însă sistemelor respective această tendință; mai mult, după cum vom vedea, și un anumit mod de trecere în noua stare, cînd tendința din potențială devine reală.

sens, acesta altuia ș.a.m.d., ambalarea efectivă avînd însă loc numai dacă fiecare șoc produs astfel, ca urmare a reacției inverse pozitive, este cît de cît mai mare ca cel imediat precedent).

În legătură cu problema pe care o tratăm și cu aceste două tipuri de reacție inversă vom sublinia următoarele aspecte.

Primul se referă la latura energetică a problemei. Într-adevăr, pentru ca sistemul să treacă din starea inițială (pe care am denumit-o 0,0) în cea finală (1,0), el are nevoie de o anumită energie, energie care îi este transmisă tocmai de șocul inițial extern X. În cazul reacției inverse negative, întoarcerea la starea inițială nu implică în principiu noi livrări de energie, revenirea putînd avea loc pe seama consumării energiei obținute prin șocul inițial. Însă, în cazul reacției inverse pozitive, îndepărtarea *în continuare* a sistemului de la starea inițială *implică în principiu* o sursă *externă* de energie, tocmai cea pe seama căreia sistemul să dezvolte acțiunea de îndepărtare de la starea inițială.

Al doilea aspect, deosebit de important, este legat de structura sistemului și de natura interacțiunilor sale cu mediul. Un sistem poate fi (considerat) liniar sau neliniar. Sistemele liniare sînt cele care urmează principiul superpoziției: efectul sumei cauzelor este egal cu suma efectelor cauzelor. Aceasta revine la afirmația că între entitățile care participă la desfășurarea procesului nu există interacțiune și nici cooperare. Numai în acest caz fiecare cauză determină același efect, indiferent de prezența sau de absența acțiunii celorlalte cauze, iar efectul sumei cauzelor este egal cu suma efectelor fiecărei cauze luate în parte. În realitate, toate sistemele, toate procesele naturale sînt, în principiu, neliniare, deoarece între entitățile care participă la desfășurarea proceselor există totdeauna un anumit grad de interacțiune și o anumită cooperare. În fizică se lucrează însă în mod curent cu sisteme liniare, care constituie o idealizare a sistemelor reale. Această idealizare a fost introdusă deoarece permite o tratare matematică mult mai ușoară a proceselor. Ca orice idealizare, ea este cu atît mai justificată, cu cît rezultatele obținute din considerarea sistemului idealizat sînt mai apropiate de rezultatele experimentale obținute cu sistemul real.

«Surprinzător este că în realitate natura este atît de aproape de o „natură liniară", încît noi putem folosi cu succes idea-

lizarea noastră» [1], liniarizarea. Idealizarea se dovedește cu atît mai justificată, cu cît domeniul de variație al entităților este mai restrîns: pe zone de variație a entităților suficient de restrînse comportarea macrosistemelor poate fi socotită ca fiind practic liniară. Cu alte cuvinte, pe zone relativ mici de evoluție, macrosistemele sînt practic liniare, iar pe zone mari ele sînt în mod necesar neliniare[2].

Mai departe. După cum am văzut, reacția inversă negativă întoarce sistemul spre starea inițială, contribuind la menținerea sistemului într-o zonă apropiată de cea inițială, într-o zonă relativ restrînsă de evoluție, deci reacția inversă negativă nu implică *principial* intrarea puternică în joc a neliniarităților, sau, mai general, a tuturor neliniarităților sistemului. Reacția inversă pozitivă însă, împingînd spre o îndepărtare din ce în ce mai puternică a sistemului de la starea inițială, ajunge *în mod necesar* să ducă sistemul spre zone în care toate neliniaritățile acestuia intră cu necesitate în joc: entitățile acestuia ajung să interacționeze puternic între ele, împingînd sistemul spre o evoluție care îi schimbă însăși structura.

Formulînd situația în termeni generali, putem afirma că *reacția inversă negativă* tinde *să conserve* sistemul, iar *reacția inversă pozitivă* tinde să împingă sistemul spre *evoluție*.

Considerînd reacția inversă pozitivă și tendința acesteia de a împinge sistemul spre evoluție, trebuie să spunem că această evoluție se poate „termina" în mai multe feluri: fie printr-o evoluție (mișcare) ciclică sau aproape ciclică, în cadrul căreia sistemul se conservă practic ca atare, fie printr-o trecere într-o altă stare de relativ echilibru, cu schimbarea sau nu a structurii sistemului. În cel de al doilea caz schimbarea structurii poate să însemne fie o nouă struc-

[1] E.H. Hutten, *Ideile fundamentale ale fizicii*, Edit. enciclopedică română, București, 1970, pag. 153.

[2] Există obiecții cu privire la prima parte a acestei afirmații în ceea ce privește sistemele biologice. « Sistemele biologice sînt intrinsec neliniare chiar în condiții de „semnal mic" (prin condiții de „semnal mic" se înțelege aici un domeniu restrîns de variație ca urmare a unor excitanți slabi. — E.K.)... Mai mult, neliniaritățile sînt adesea necesare pentru funcționarea optimă a sistemelor biologice din punctul de vedere al comportării lor (behavioral point of view) » (P.Z. Marmarelis și Ken-Ichi Naka, *Identification of Multi-Input Biological Systems* în „IEEE Transactions on biomedical engineering", vol. BME-21, martie 1974, Nr. 2, p. 89). După cum se va convinge cititorul, obiecția, chiar justificată, nu impietează asupra valabilității considerațiilor ce urmează referitoare la efectele deosebite ale prezenței reacției inverse negative sau pozitive într-un sistem.

tură stabilă pe o linie evolutivă ascendentă (evoluția biologică, socială, psihică), fie trecerea spre o stare *oarecare* nouă stabilă, un caz particular și relativ frecvent fiind cel al distrugerii sistemului, al dezorganizării structurii acestuia.

Efectul posibil al prezenței într-un sistem oarecare al reacției inverse pozitive (posibil, desigur, deoarece trebuie îndeplinite anumite condiții cantitative, de structură și energetice) este apariția unui sistem dinamic oscilant. Un astfel de sistem se află într-o evoluție ciclică, adică parcurge în timp, cu o anumită viteză determinată, un șir închis de stări succesive determinate. În acest fel de sistem, numit autooscilant, reacția inversă pozitivă este cea care determină întreținerea mișcării sistemului. Astfel de sisteme (tehnice) sînt, de exemplu, ceasornicul, motorul cu ardere internă (de automobil), oscilatorul electronic etc. Toate se caracterizează prin aceea că efectuează o mișcare periodică, în cadrul căreia pierderile inerente de energie, care ar duce în cele din urmă la oprirea sistemului, sînt acoperite prin luarea de porții de energie de la o sursă externă. Această preluare a energiei în porții de la sursa externă este efectuată tocmai prin intermediul unui mecanism de reacție inversă pozitivă; fiecare ciclu, care implică, pe de o parte, cheltuire de energie, determină, pe de altă parte, printr-o reacție inversă pozitivă, intrarea în sistem a unei *anumite* porții de energie de la sursa externă într-un *anumit* moment al desfășurării ciclului. Mișcarea se stabilizează, adică ia un caracter de regularitate, de trecere succesivă prin stări determinate[1] atunci cînd se îndeplinesc simultan două condiții: prima, cînd energia cheltuită în medie pe ciclu este acoperită de o intrare de energie în medie egală pe ciclu; a doua, cînd intrarea porțiilor de energie în sistem este sincronizată cu mișcarea acestuia, adică are loc în intervale de timp corelate cu evoluția proceselor din ciclu. În cazul în care această corelare are loc sub o acțiune externă sistemului, acesta se spune că este un sistem autooscilant sincronizat exterior. Studiul fizic-matematic al sistemelor cu reacție inversă pozitivă și al condițiilor structurale de principiu care determină ieșirea unui sistem din stabili-

[1] Sistemele autooscilante se împart în primă instanță în sisteme cu oscilații armonice (sau cvasiarmonice), a căror comportare este descrisă de funcții armonice și are, metaforic vorbind, un caracter „lin" și „continuu" (cum este, de exemplu, mișcarea acelor ceasornicului), și în sisteme cu oscilații de relaxare, în care, în ciclu, secvențe de variație comparativ extrem de rapide alternează cu secvențe de variație relativ lente.

tate și intrarea lui în oscilație a constituit un capitol de importanță majoră în dezvoltarea fizicii matematice din primele decenii ale secolului al XX-lea, „integrîndu-se" organic în teoria și tehnica sistemelor automate și, prin intermediul acestora, în cibernetică[1].

Exemple de sisteme autooscilante pot fi date nu numai din domeniul tehnicii. Mișcarea inimii sau respirația sînt și ele procese autooscilante[2]. S-ar putea ca și alternanța veghe-somn[3]

[1] Devenit clasic pentru domeniul respectiv, deosebit de interesant este și în prezent tratatul lui A.A. Andronov, A.A. Vitt și S.E. Haikin, *Teoria kolebanii*, Izd., Moskva, 1959 (ed. 1, 1937) care prezintă rezultatele nu în cadrul unui sistem constituit, ci pe linia eforturilor de desprindere și de înțelegere a laturilor principiale ale proceselor studiate, efort care a permis începutul formalizării matematice a acestora. Fizicienii care au inițiat aceste cercetări au văzut imediat posibilitățile extinderii lor și în domeniul biologiei (vezi de exemplu B. van der Pol și M. Van der Mark, *Le battement du coeur consideré comme oscillation de relaxation et un modele electrique du coeur*, în „L'Onde electrique", 1928, nr. 7, p. 365).

[2] Vezi, de exemplu, E. Bittman, *Cibernetică și biologie (Servomecanisme homeostatice)*, Edit. Științifică, București, 1974, cap. V. „Reglarea automată a aparatului cardiovascular", și cap. III, „Servomecanisme în reglarea respirației pulmonare". Complexitatea proceselor biologice respective nu permite, cel puțin în prezent, folosirea rezultatelor capitolului respectiv de fizică matematică în descrierea altfel decît în mare a proceselor amintite. El a ajutat însă și continuă să ajute, după părerea noastră, la formarea unui punct de vedere metodologic, care s-a constituit într-un ghid eficient în cercetarea concretă a diferitelor structuri biologice, sociale, psihice, etc. Ponderea metodologică acordată reacției inverse pozitive ni se pare însă nejustificat de mică față de cea acordată reacției inverse negative, dar despre considerentele care ne înclină spre această afirmație ceva mai departe.

[3] „Dintre toate caracteristicile proprii mecanismului nostru mintal, cea cu cel mai puternic caracter de șaradă și poate cea mai importantă este această nevoie de somn... Creierul continuă să-și consume rația sa de glucoză și celulele nervoase continuă să genereze descărcări electrice; în sînge nu se află nici un fel de substanță chimică hipnotică, dar pe o treime din viața sa creierul închide porțile spre lumea exterioară și intră într-o stare care alternează între acalmie și o intensă preocupare pentru o activitate internă. Putem urmări aceste tranziții după modificările structurii electrice (a encefalogramelor) și există oarecari dovezi că anumite substanțe chimice naturale influențează balanța somnului..., dar nu sîntem în posesiunea unei explicații a procesului ca un tot... sau a consecințelor serioase pe care le dă lipsa de somn" (W. Grey Walter, *The mechanisms of the minde*, în *From Molecule to Man*, „Crown Publ.", New York, 1969, p. 128). O prezentare a principalelor caracteristici ale somnului vezi în I. Baciu, *Cum funcționează creierul*, Edit. „Dacia", Cluj, 1974. p. 148—158. Am amintit despre somn deoarece unii autori, ca W. Grey Walter, de exemplu, în *op. cit.*, p. 127—128 (paragraful „The speculative robot") discută despre unele căi prin care „creierii artificiali" ar putea ajunge „pe hîrtie" (adică luînd în considerare modele teoretice) să manifeste asemenea stări. Nu ne vom ocupa în continuare de acest aspect, fiind prea speculativ.

să rezulte tot dintr-un proces cu reacție inversă pozitivă[1].

Să ne referim acum pe scurt la trecerea de la o stare la alta sub acțiunea unei reacții inverse pozitive. *Alura*, forma

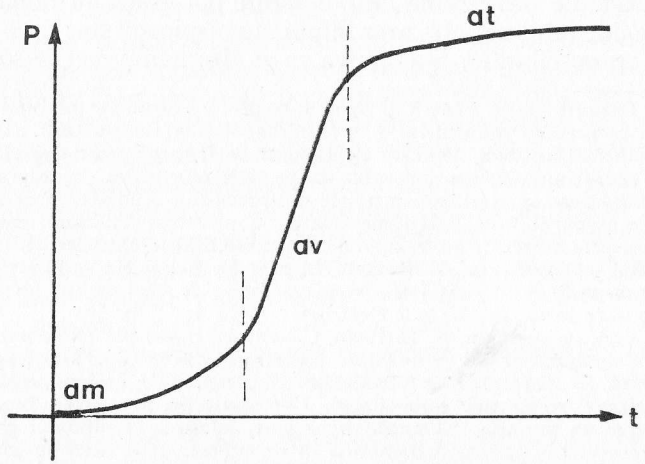


Fig. 19 — Caracterul tipic imprimat trecerii unui sistem dintr-o stare în alta de prezența în sistem a unei bucle de reacție inversă pozitivă; *am* — zonă de amorsare; *av* — zonă de „avalanșă"; *at* — zonă de atenuare a vitezei de decurgere a proceselor, de stabilizare în noua stare.

tipică a desfășurării procesului, este arătată în figura 19. Procesul pornește încet și are o zonă mai mult sau mai puțin întinsă în timp, zona de „amorsare" (prima parte a curbei *am*), urmează apoi o zonă de relativ foarte rapidă dezvoltare, procesul se desfășoară în avalanșă (zona *av*), ca pe urmă să urmeze iarăși o zonă de evoluție relativ lentă; ultima parte a curbei (zona *at*) reprezintă încetinirea, atenuarea procesului, stabilizarea pe o nouă stare.

Teoria generală a comportării sistemelor cu reacție inversă pozitivă explică caracterul acestor trei zone: indiferent

[1] Este interesant de amintit experiența cu izolarea unui organism uman pe timp îndelungat într-o peșteră, în fapt „extragerea" lui de sub influența ciclului diurn. Ea a arătat că într-o astfel de situație se stabilește un ciclu veghe-somn de 48 de ore în loc de 24 de ore. Fenomenologic s-ar părea — exprimăm această părere cu toată rezerva — că ar exista un ciclu propriu al organismului, care ar fi doar sincronizat de ciclul extern diurn.

de modul în care procesul este inițiat, din momentul în care în sistem se constituie o reacție inversă pozitivă de intensitate suficientă (vezi p. 137), procesele se desfășoară după o lege exponențială; însăși denumirea de „proces în avalanșă" vine de la constituirea avalanșelor, proces tipic cu reacție inversă pozitivă; „oprirea" avalanșei are loc datorită ivirii în structura sistemului sau în interacțiunea sa cu alte sisteme a unor neliniarități care întrerup bucla de reacție inversă pozitivă. Neîntreruperea buclei de reacție inversă pozitivă pe această cale duce la „întreruperea" pe calea „neliniarității", care semnifică distrugerea sistemului.

În tehnică, reacția inversă pozitivă este intens folosită ori de cîte ori se dorește accelerarea trecerii unui sistem dintr-o stare în alta, obținerea unei comutări accelerate dintr-o stare în alta. Printre altele, în structura unor circuite de bază folosite în calculatoarele electronice (circuitele bistabile de exemplu) sînt introduse astfel de bucle de reacție inversă pozitive. Declanșarea însă *necontrolată* a unor astfel de procese se termină, de regulă, cu efecte nedorite, distrugerea instalațiilor, explozii etc.

Asupra rolului acestor procese în natură în general și în particular în lumea viului există puncte de vedere deosebite, distribuite pe un spectru larg, de la considerarea „retroacțiunii pozitive" ca „motor" al organizării universului[1] la considerarea ei doar ca forme trecătoare și implicit nesemnificative[2]. Lăsînd însă deoparte generalizările metaștiințifice, am remarca atitudinea oarecum rezervată a diferiților cercetători față de luarea în considerare în explicarea diferitelor procese a reacției inverse pozitive; mai exact, remarcăm că acest proces este descris cu predilecție ca unul care conduce la distrugere dacă, bineînțeles, nu este limitat. De exemplu, „reacția ... de alarmă ... este de fapt o reacție cu *feedback* pozitiv, în cursul căreia se produc modificări ale

[1] A. Ducrocq, *Romanul materiei*, Edit. Științifică, București, 1966, cap. „Cibernetica împotriva termodinamicii", în particular p. 106: «... univers primar ale cărui singure „organizări" erau retroacțiunile pozitive».

[2] J. Guillaumaud, *Cibernetica și materialismul dialectic*, Edit. Științifică, București, 1967, paragraful „Caracterul universal al retroacțiunii", p. 76. Dealtfel autorul afirmă în aceeași pagină că întreruperea reacției inverse pozitive are loc *întotdeauna* prin constituirea unei retroacțiuni negative, a unei reacții inverse negative, ceea ce este din punct de vedere științific inexact dacă nu se forțează semnificația de sistem cu reacție inversă negativă, cum credem că procedează J. Guillaumaud.

constanței mediului intern și care, ca toate mecanismele cu *feedback* pozitiv, dacă nu este limitată, ca amplitudine și durată în timp, duce la *exitus*"[1]. Dar, dacă reacția inversă pozitivă este limitată (prin intervenția unei „neliniarități", care în unele cazuri poate fi și apariția unei reacții inverse negative), ea contribuie la desfășurarea accelerată a proceselor și pe această cale rezolvă probleme care altfel ar trena sau pur și simplu nu s-ar rezolva. (banal poate, dar, dacă o persoană „spune" ceva neplăcut alteia și aceasta răspunde la rîndul ei în același stil, se poate amorsa ușor un proces cu reacție inversă pozitivă, aptă să ducă la o avalanșă crescîndă de injurii (sau și de alte acțiuni), care, dacă nu intervine un factor de limitare, o „neliniaritate", riscă să se termine cu „distrugere". Dar dacă o persoană determină prin comportamentul ei indignarea justificată a unui colectiv, indignare care, în loc să scadă, începe să crească exponențial — totul depinde de relațiile structurale și funcționale ale colectivității —, întregul proces se termină prin „punere la punct" — care nu înseamnă distrugere! — a persoanei respective printr-un rezultat cu totul pozitiv!)

Procesele cu reacție inversă pozitivă s-ar părea însă că au un rol mult mai mare în istoria viului în general, în istoria omului în particular. Afirmațiile care urmează le facem cu toată rezerva necesară, ele fiind propuse mai mult drept teme de meditație decît drept concluzii închegate.

În evoluția speciilor se desprinde, pare-se, o trăsătură interesantă, și anume o evoluție de tipul celei din figura 19. Astfel, examinarea fosilelor de Dipneusti[2] arată o curbă ca în figură dacă pe orizontală se pune timpul în milioane de ani, iar pe verticală, în procente, gradul de apropiere a caracteristicilor fosilelor de caracteristicile contemporane[3]. În circa 50 milioane de ani, caracteristicile au variat cu circa 10%, în următorii 50 milioane de ani cu circa 70% (de la 10 la peste 80%), ca restul de sub 20% să se realizeze în

[1] I. Baciu, *op. cit.*, p. 173; sau „cercul vicios" (p. 27). Să nu se înțeleagă cumva că afirmăm că autorul citat nu cunoaște sau nu recunoaște rolul pozitiv al reacției inverse pozitive. Este vorba doar de punerea accentului!

[2] Ordinul Dipneusti, pești care posedă atît plămîni, cît și branhii.

[3] J.Z. Young, *From molecule to man*, în culegerea cu același nume, Crown Publ., New York, 1969, p. 96.

circa 250 milioane de ani de evoluție. În antropogeneză, situația se prezintă astfel[1]:

	Driopitec	*Australopitec*	*Pitecantrop*	*Neandertal*	*Homo sapiens*
Timpul (ani)	zeci de milioane	20 milioane	1 milion	300 000	200 000
Cutia craniană (cm^3)	400—500	400—700	900—1000	1300±	1 450

Desfășurarea în timp a procesului de modificare morfologică a creierului prezintă o curbă tot de forma celei din figura 19, dacă pe abscisă se pune timpul, iar pe ordonată volumul cutiei craniene. De asemenea nenumăratele procese sociale la care asistăm și care, avînd un ritm din ce în ce mai rapid de dezvoltare (exponențial), ridică atîtea probleme în privința modului în care se vor „limita" pentru a nu ne amenința cu acel *exitus*!

Nu pun oare toate aceste procese, considerate atît fenomenologic, cît și structural, problema luării în considerare mai atentă a reacției inverse pozitive, în general și în particular a proceselor de restructurare pe care le determină ca factor intern limitativ? În concret, aceasta ar însemna o mai puternică concentrare a atenției asupra neliniarităților structurale și funcționale din fiecare proces concret studiat în parte, ar însemna încercarea de depășire sistematică a modelelor liniare, care, cu toată informația pe care o pot da în primă instanță, nu pot răspunde *din principiu* la comportarea sistemelor care prezintă reacții inverse pozitive și care prin aceasta sînt structural neliniare (dacă nu intervin neliniaritățile ajung la distrugere, *exitus*!). Dacă am reveni la observația pe care am reprodus-o după E. H. Hutten, și anume că e de mirare că natura este atît de aproape de a fi o natură liniară, am adăuga că natura vie (ca tot ce este legat de ea) este foarte departe de a fi liniară! Avem în vedere în această afirmație greutățile întîmpinate pe calea cunoașterii lor,

[1] N.S. Dumitru, *op. cit.*, p. 65.

procesele respective fiind intrinsec neliniare, ceea ce implică o tratare matematică, încă departe de a fi elaborată[1].

Dar, dacă natura vie prezintă forme atît de stabile, aceasta se datorează proceselor cu reacție inversă negativă. Mai exact, dacă această natură vie există așa cum o cunoaștem noi, ea se datorează îmbinării într-o integrare specific biologică, a cărei natură încă nu este înțeleasă, a numeroase procese de reacție inversă negativă cu procese de reacție inversă pozitivă. Cele din urmă pun în mișcare sistemul, primele conservă natura sistemului aflat în mișcare. Toate sistemele „dinamice complexe", fie că sînt vii, fie că sînt construite de om, prezintă un înalt grad de organizare, care se menține în cursul desfășurării proceselor datorită unei întregi ierarhii de reglaje subordonate unele altora. „Izolarea" tipurilor de reglaje, desprinderea a ceea ce este comun și specific, urmărirea dacă se poate pe calea generalizării și formalizării a subordonărilor și ierarhiilor, înțelegerea modului în care din acestea se constituie comportarea dirijată, aparent potrivit unui scop sau realmente potrivit unui scop, constituie obiectul ciberneticii.

Înainte de a trece la considerarea acestor procese am vrea să subliniem un aspect energetic al proceselor cu reacție inversă, semnificativ pentru discuția noastră. Precizăm din nou că o vom face doar pe linia și în măsura în care interesează în problema pe care o tratăm. Și anume: energia consumată pe bucla de reacție inversă este, *de regulă*, incomparabil mai mică decît cea care intră în joc pe linia fundamentală a procesului energetic desfășurat de la sursa externă de energie în sistem și prin sistem la acțiunea externă. *Cu alte cuvinte, prin mecanismele de reacție inversă este posibil ca o interacțiune energetică puternică să se desfășoare potrivit structurii unei interacțiuni energetic slabe.* Prin urmare, mecanismele de reacție inversă permit ca jocul unor mici cantități de energie să determine comportarea, jocul unor cantități incomparabil mai mari de energie (raportul dintre energia în joc în lanțul direct și cea din bucla de reacție inversă ia de multe ori valori astronomice).

Mecanismele de reacție inversă — acțiunea *produsului* procesului asupra comportării procesului însuși, al *sistemului*

[1] Luarea în considerare a neliniarităților constituie și ea una dintre actualele frontiere ale fizicii, „care, din cauza unei formidabile bariere matematice este cu mult mai greu de depășit" (E.H. Hutten, *op. cit.*, p. 153).

producător — determină deci fie echilibre în jurul unor valori medii, o zonă de stabilitate datorită reacției inverse negative, fie evoluții accelerate de îndepărtare de la valoarea inițială, datorită prezenței unei reacții inverse pozitive, care se termină fie cu modificarea radicală a sistemului, fie cu evoluții ciclice cu caracteristici relativ stabile. Aceasta are loc nu numai în planul proceselor energetice, ci și în planul modificărilor structurii substanțiale a sistemului.

Rezumînd cele de pînă acum, trebuie să reținem următoarele trei constatări: prima, în sistemele cu reacție inversă există o legătură prin care produsul sistemului datorat modificării acestuia de un factor extern devine, la rîndul lui, factor de modificare al sistemului însuși; a doua, această acțiune prin reacție inversă poate avea două sensuri principial opuse, acela de a întări sau acela de a slăbi procesul care-i dă naștere, de a tinde să conserve sistemul sau să-l împingă spre evoluție; a treia, cantitativă, mijloacele care se consumă în bucla de reacție inversă pot fi și sînt, de regulă, neglijabile în raport cu mijloacele fundamentale din procesele de bază, cu alte cuvinte mijloace relativ mici pot controla, și în fapt controlează, desfășurarea comportării unor mijloace incomparabil mai mari.

Un salt calitativ în procesele cu reacție inversă existente în natură se produce în situația în care reacția inversă apare prin intermediul unei interacțiuni informaționale; în acest caz, mărimea de la ieșire acționează asupra intrării nu în mod nemijlocit, ci mediat, prin intermediul unei interacțiuni informaționale. Acest salt calitativ are loc odată cu apariția viului, a vieții; în lumea nevie, astfel de sisteme au apărut doar ca rezultat al acțiunii organizatoare a omului.

Creșterea ponderii proceselor informaționale în general și a proceselor de reacție inversă informaționale în particular este strîns și nemijlocit legată de dezvoltarea filogenetică a sistemului nervos care a condus la apariția creierului uman și, prin acesta, la apariția „creierului artificial" de unde și problema atît de discutată astăzi a raporturilor dintre creierul uman și cel artificial.

Odată cu dezvoltarea teoriei automatelor, a teoriei informației, a teoriei proceselor de control și dirijare, precum și cu elaborarea concretă, fizică a unor dispozitive care prezintă „comportare cu finalitate", adică odată cu constituirea ciberneticii și a cuplării acestui domeniu cu cel al cercetării biologice propriu-zise, a apărut și posibilitatea abordării știin-

ţifice a problemei finalităţii, adică au apărut acele cunoştinţe concrete şi idei ştiinţifice directoare, generalizatoare din a căror dezvoltare se poate spera la ora actuală în mod raţional că se va elabora teoria ştiinţifică a finalităţii, care, ca orice teorie ştiinţifică, este esenţialmente o teorie materialistă.

Aici ne vom permite o mică digresiune filozofică. Pentru gînditorii a căror concepţie asupra lumii este cea materialist-dialectică, problema raportului spirit — materie este rezolvată demult. Pentru aceştia, spiritul, conştiinţa, activitatea intelectuală, afectele, comportarea cu finalitate etc. sînt secundare în raport cu materia, ele fiind un produs [1] al materiei organizate într-un chip specific. Viaţa este, după cum spunea Engels, un *mod de a fi* al albuminelor, această definiţie fiind cu mult mai puţin depăşită decît o cred unii ciberneticieni. Ceea ce a adus nou ştiinţa în mai bine de o sută de ani de dezvoltare impetuoasă a fost doar *începutul* precizării „modului de a fi" şi a structurii concrete a „albuminelor". Aici vrem să subliniem că numeroasele studii din ultimii 40 de ani asupra creierului şi asupra sistemului nervos în general au dus la situaţia ca şi cercetătorii care nu se situează în mod conştient pe poziţiile materialismului dialectic să-şi orienteze linia generală a cercetărilor în sensul combaterii poziţiilor dualiste (care acceptă două realităţi primare independente, materia şi spiritul), în sensul demonstrării faptului că toate activităţile spirituale constituie un produs al activităţii materiale (după cunoştinţele actuale, în principal electrochimice) a creierului, care, la rîndul lui, este o parte a unei formaţii materiale specific organizate [2].

[1] „Produs" nu în sens substanţial, ci funcţional.

[2] Dean E. Wooldridge, *The Machinery of the Brain*, New York, McGraw-Hill Book Comp., 1963: toate conduc „la ceea ce poate fi singurul procedeu raţional de a astupa fanta din structura logică a filozofiei mecaniciste; a se accepta conştiinţa însăşi ca un fenomen natural în descrierea şi studiul căreia este aplicabil sistemul de legi şi de metode al ştiinţelor naturii (fizice)" (p. 239);

Jose M.R. Delgado, *Physical control of the mind*, Harper & Row, 1969: „După părerea mea, fără excitaţie (sau fără creier) conştiinţa nu poate exista, iar fără a-i studia comportarea ea nu poate fi cunoscută" (p. 33); şi mai departe: „În această carte, sufletul este considerat ca o concepţie religioasă, care n-are nici o legătură cu obiectul discuţiei noastre, în timp ce conştiinţa este tratată ca o existenţă lipsită de sens religios şi care poate fi cercetată experimental" (citat după ediţia rusă, *Mozg i soznanie*, Izd. „Mir", Moskva, 1971).

Dacă tot sîntem în cadrul unei digresiuni filozofice, am mai vrea să subliniem un element, nu lipsit de interes, din punctul de vedere al dezvoltării concepţiilor epistemologice: dacă unii cercetători — iarăşi ne referim la cei ce nu adoptă în mod conştient poziţii materialist dialectice — din domeniul biologiei, neurologiei, psihiatriei etc.[1] pun accentul pe afirmarea materialismului şi alunecă relativ uşor în mecanicism, cei din domeniul fizicii (ştiinţă care în dezvoltarea sa a luat-o înaintea celorlalte) pun accentul pe dialectică, mai exact descoperă, să zicem aşa, spontan dialectica [2]. Încheiem digresiunea cu sublinierea următorului aspect important pentru discuţia pe care o purtăm: în faza actuală a cunoştinţelor despre creier şi despre dispozitivele artificiale de prelucrare a informaţiei, tendinţa spontană este aceea a unei identificări mecaniciste prin analogie, prin extindere sau a unei reduceri mecaniciste a unui domeniu la altul [3]. Cele spuse mai sus sînt doar pentru avertizare; discuţia o vom continua, aşa cum ne-am propus-o de la început, nu pe plan filozofic, ci pe planul confruntării punctelor de vedere care s-au conturat în diferitele domenii de specia-

[1] Pe lîngă opiniile citate mai sus, vezi şi W.R. Ashby, *Ce este maşina raţională*, în *Cibernetica*, Edit. politică, Bucureşti, 1963, p. 284: „Esenţială nu este deosebirea dintre maşinile digitale şi maşinile analogice sau dintre germaniu şi proteină, ci deosebirea dintre raţiunea reală care prelucrează cantitatea necesară de informaţie şi o anumită raţiune mitică pe care oamenii îşi închipuie că o au"; F.H. George, *The Brain as a Computer*, Pergamon Press, New York, 1961, p. 2: „Cibernetica reprezintă, într-o anumită privinţă, un foarte vechi punct de vedere îmbrăcat într-o haină nouă, deoarece strămoşii lui filozofici sînt materialiştii greci antici, ca Democrit, şi materialiştii mecanicişti ai secolului al XVIII-lea. Aceşti străbuni nu reprezintă însă nimic mai mult decît momente din evoluţia punctului de vedere materialist..., de a cărui dezvoltare nu ne vom ocupa aici. Este însă pe deplin posibil ca acei care se situează pe poziţii radical opuse celor ale materialiştilor mecanicişti din secolul al XVIII-lea şi ale corespondenţilor lor contemporani să accepte unele părţi ale ciberneticii doar pentru valoarea lor metodologică şi pragmatică!"

[2] Un exemplu strălucit este cartea lui E.H. Hutten, *Ideile fundamentale ale fizicii*, Edit. enciclopedică română, Bucureşti, 1970. În pofida poziţiilor generale filozofice pozitiviste ale autorului care rezultă din unele pasaje, ea constituie *în fapt* o strălucită demonstraţie a caracterului materialist şi dialectic al realităţii fizice, o strălucită demonstraţie antipozitivistă.

[3] Deşi, metodologic vorbind, în asemenea situaţii tendinţa mecanicistă nu este absolut condamnabilă: una dintre modalităţile fundamentale ale ştiinţei este tendinţa de extindere a noului descoperit în toate direcţiile pînă ce realitatea conturează limitele reale, valabile ale extinderii.

litate și care se intersectează cînd se pune problema raporturilor creier uman — creier artificial.

Revenind la reacția inversă și la finalitate, să urmărim printr-un prim exemplu calea prin care, prin intermediul

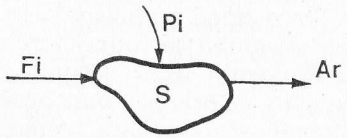


Fig. 20 — Un sistem „deschis" S este supus nemijlocit acțiunilor perturbatoare P_i. F_i — factor extern, A_r — reacția funcție de F_i.

unei reacții inverse cu interacțiune informațională, un sistem, la prima vedere „pasiv", ar putea prezenta o „comportare cu finalitate".

Să considerăm un sistem S (fig. 20) care, sub acțiunea unui factor extern F_i, dă o reacție A_r funcție de acesta. Desigur, dacă între F_i, S și A_r există întîmplător relații de proporționalitate (cum ar fi, de exemplu, dilatarea unei bare sub acțiunea căldurii), avem a face cu cazul „banal" al unui sistem pasiv [1]. Dacă, mai departe, asupra sistemului acționează și un alt factor, P_i, care determină și el modificări ale aceleiași mărimi, A_r, aceasta din urmă va depinde de felul cum se suprapun la un moment dat acțiunile F_i și P_i; sistemul suferă „pasiv" acțiunea diferiților factori.

Să presupunem acum sistemul S prevăzut cu o buclă de reacție internă, ca în figura 21. Sistemul S sesizează acțiunea F_i printr-un traductor T_F, care dă o mărime X_i proporțională cu F_i, adică S interacționează informațional cu F_i. Mai departe, S dă naștere unei acțiuni A_r^*, pe care o și sesizează prin intermediul unui traductor T_{A^*} care dă o mărime X_r de aceeași natură cu X_i, cu alte cuvinte interacționează informațional cu rezultatul propriei acțiuni. În fine, mărimea X_r este întoarsă (bucla de reacție!) la un organ de comparare C, care compară mărimile X_i și X_r și elaborează o comandă e pentru sistemul S. În felul acesta sistemul

[1] „Banalitatea" constă în proporționalitatea simplă efect-cauză, iar „pasivitatea" în faptul că dilatarea nu influențează la rîndul ei sistemul care modifică temperatura.

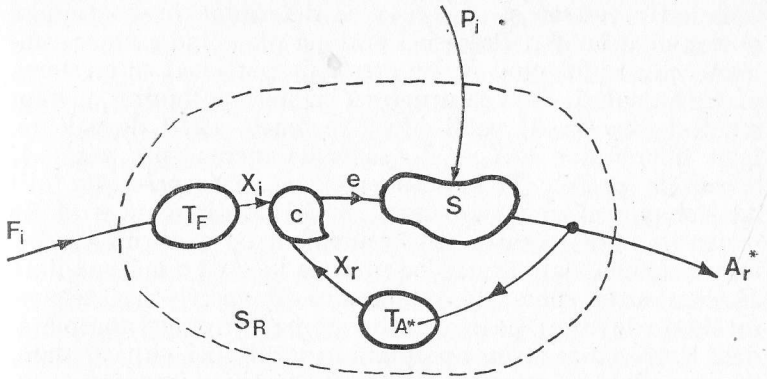


Fig. 21 — Un sistem cu reacție inversă negativă, (S_R) cu „buclă închisă" reduce influența factorilor perturbatori (P_i) asupra stării sistemului. T_F — traductor care dă o mărime X_i proporțională cu acțiunea F_i. T_{A^*} — traductor care dă o mărime X_r proporțională cu reacția A_r^*; C — organ de comparare care elaborează o mărime e proporțională cu diferența $X_i - X_r$.

considerat S interacționează informațional cu mărimea F_i și cu rezultatul acțiunii A_r^*, elaborînd o comandă de acțiune potrivit rezultatului operației efectuate de organul prelucrător de informație C asupra celor două mărimi X_i și X_r, care reprezintă acțiunea externă F_i și, respectiv, reacția produsă A_r^*. Dacă relația dată de organul C este, să zicem, simpla diferență dintre mărimile respective, adică $e = X_i - X_r$, se poate vedea imediat că reacția A_r^* va fi proporțională cu acțiunea externă F_i, *indiferent* de alte acțiuni, eliminînd influența altor acțiuni, în cazul nostru a mărimii P_i. Într-adevăr, dacă în urma creșterii mărimii P_i reacția A_r^* ar tinde, să zicem, să crească, sistemul considerat va acționa de așa manieră, încît va tinde să anuleze această creștere. Dacă P_i crește, conform presupunerii *crește* și A_r^* ca și, mai departe, X_r. Ca urmare a *creșterii* lui X_r, mărimea $e = X_i - X_r$ *scade* și deci comandă *scăderea* reacției A_r^*! Dacă, dimpotrivă, P_i scade, A_r^* tinde să *scadă*, X_r tinde de asemenea să scadă, $e = X_i - X_r$ tinde să crească și, ca urmare, reacția A_r^* tinde *să crească*, această tendință compensînd tendința inițială de scădere! Dacă considerăm acum variațiile mărimii F_i, constatăm că reacția A_r^* *urmărește* aceste variații. Într-adevăr, să presupunem că F_i *crește*. Ca urmare, *crește* și X_i, ca și, mai departe, comanda $e = X_i - X_r$.

Crescînd e, *crește* și A_r^*, ceea ce determină în continuare o creștere a lui X_r. Procesul continuă pînă cînd e nu se anulează, adică pînă cînd X_r nu crește proporțional cu creșterea pe care a suferit-o X_i ca urmare a creșterii acțiunii F_i. Drept rezultat, reacția A_r^* va fi adusă mereu la astfel de valoare, încît diferența $e = X_i - X_r$ să tindă mereu spre zero. A_r^* *urmărește* pe F_i. Trebuie să precizăm că *în principiu* nici un sistem real nu poate lucra astfel ca diferența e să fie *realmente* nulă; aceasta este echivalent cu a afirma că nici un sistem nu poate urmări cu precizie *infinită* o mărime dată F_i. Sau, altfel spus, reglajul (ceea ce am descris mai sus este un sistem de reglaj) poate menține starea într-o *zonă* apropiată, dacă vreți foarte strîns apropiată în jurul unei situații date, dar niciodată în permanență exact în starea impusă.

Revenind la sistemul considerat, reiese că în cazul acestuia nu este vorba decît de o *aparentă finalitate*; comportarea este automată în sensul că, odată înjghebată, ea decurge astfel și nu altfel. Lucrurile se complică atunci cînd ceea ce am numit organul de comparare C nu mai este un simplu „scăzător" ca în exemplul nostru, ci un dispozitiv care execută operații complexe și multiple asupra mărimilor care îi parvin. Problema pe care o tratăm se formulează acum astfel: este oare comportarea cu finalitate rezultatul unei suprapuneri complexe de răspunsuri de tip stimul-reacție? Sau, mai precis, ceea ce ne apare atît de complex în comportarea viului, mergînd pînă la formele superioare ale conștiinței la om, nu este oare decît *suprapunerea* a numeroase acte elementare automate de tipul celui exemplificat mai sus? Răspunsul afirmativ înseamnă acceptarea identității creier uman—creier artificial, iar răspunsul negativ înseamnă afirmarea existenței unei deosebiri calitative.

Din punct de vedere epistemologic, cele două răspunsuri nu sînt echivalente. Răspunsul afirmativ înseamnă a formula o ipoteză clară de lucru, care pare a fi confirmată prin multe observații. Numeroasele probleme complexe legate de activitatea creierului, care evident nu poate fi redusă pur și simplu la o combinație de mecanisme de reacție elementare, sînt considerate în cadrul acestei ipoteze doar ca nerezolvate, dar sigur rezolvabile. Răspunsul negativ este însă ceva mai complicat. Într-adevăr, lăsînd la o parte poziția spiritualistă — postularea unui principiu nematerial, a unei „forțe vitale" externe materiei, poziție astăzi totalmente inconsistentă chiar pentru cercetătorii care nu se situează conștient pe poziții

generale materialiste [1], un răspuns negativ cere și explicitarea sau măcar schițarea a ce anume ar fi în plus în activitatea creierului, în structura și în activitatea materială a acestuia pentru a explica fenomenele pe care cu toții le constatăm și care nu ar fi explicabile prin combinare de simple mecanisme de reacție elementare.

La ora actuală, ansamblul cunoștințelor umane nu poate da un răspuns încheiat problemei puse, însă permite, credem, schițarea, conturarea unei încercări de răspuns.

Închiderea în lanț cu reacție inversă și constituirea formației active cu acțiune coordonată și dirijată pentru conservarea individului și a speciei au avut loc, evident, înaintea apariției și constituirii unui sistem nervos specializat și relativ independent, pe a cărui analiză pe linia mecanismelor de reacție se bazează în principal argumentele celor ce reduc finalitatea la o suprapunere de stimuli-reacție. Apariția sistemului nervos și în continuare a creierului ca organ central al acestuia constituie o etapă ulterioară în dezvoltarea viului. Prin urmare, procesele de reacție în sine și luate fiecare pentru sine nu înseamnă într-un anumit sens încă nimic; numai *integrarea lor într-un tot coordonat* duce la apariția a ceea ce numim viață. Și cînd spunem integrare nu înțelegem simpla suprapunere: în cadrul integrării, fiecare element rămîne și nu rămîne același, integrarea *limitează* unele posibilități ale elementelor ca atare și totodată *deschide* posibilități inexistente în afara integrării atît pentru elementele respective, cît și pentru structura în care acestea se constituie. Acesta este unul dintre momentele fundamentale ale dialecticii existentului. De aceea, oricît de spectaculos ar fi saltul calitativ de la formele primitive de viață la forma cea mai dezvoltată pe care o cunoaștem, omul actual, *fundamental este primul salt, constituirea formației active ca atare*, apariția viului. Rezultă, așadar, că în analiza activității creierului uman, oricît de complicat și de dezvoltat ar fi acesta în raport cu formele primitive, se recomandă să avem în vedere că apariția vieții reprezintă saltul calitativ fundamental de la care trebuie pornit. Creierul *funcționează* — simte, gîndește, dirijează — pentru *a asigura viața* formației în care este integrat și nu asigură viața pentru a simți, gîndi, dirija, oricît de puternică și uneori aparent fundamentală ar apărea inversiunea situației la om.

[1] Cu unele excepții, bineînțeles, dar care nu schimbă atitudinea generală.

Trebuie însă subliniat că odată cu înțelegerea proceselor de reacție în general, a proceselor informaționale de reacție în particular, s-a ajuns la găsirea unei *baze fizice* de la care pornind să se poată derula unul dintre firele explicării finali-

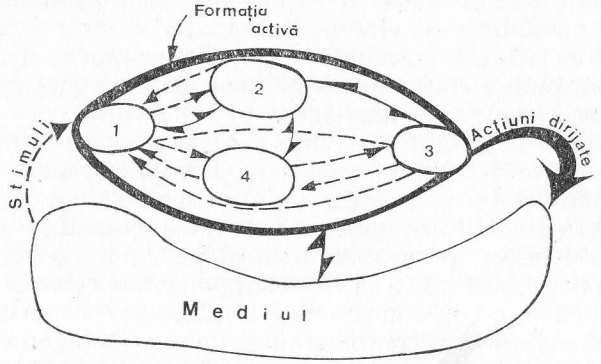


Fig. 22 — Reprezentarea schematică a sistemului de interacțiuni care, integrate biologic, asigură existența unei formații active ca atare (cu linii pline — interacțiuni „fizice" energetice, de schimb de substanțe etc.; cu linii întrerupte — interacțiuni informaționale): *1* — organe traductoare; *2* — sisteme de organe; *3* — organe de execuție; *4* — sistemul nervos central.

tății și, în general, a întregii complexități a vieții așa cum o cunoaștem [1]. Repetăm, este vorba doar de găsirea uneia din *bazele de pornire*, pentru că, luînd în considerare o formație activă cît de cît dezvoltată, o schiță extrem de sumară și de generalizatoare a structurii acesteia din punctul de vedere general care ne interesează arată ca în figura 22.

Existența ca atare a formației active este asigurată în primă instanță de desfășurarea corespunzătoare a interacțiunilor pe care le numim fizice (energetice, substanțiale etc.) dintre formație și mediul extern și a celor din interiorul formației, între diferitele subpărți ale acesteia.

După cum se vede din figură, aceste două procese fundamentale interconectate și interdependente sînt asigurate de o rețea întreagă de interacțiuni informaționale (sesizări și comenzi), care, toate, formînd o rețea complexă de reacții,

[1] Explicarea vieții va însemna nu numai înțelegerea proceselor fizico-chimice la diferitele niveluri și a mecanismelor de desfășurare a acestora, ci în primul rînd înțelegerea, explicarea specificității integratoare biologice.

asigură starea cvasistaționară a formației și evoluția dirijată, acțiunea „antientropică" a acesteia. Esențial este însă — și repetăm acest lucru mereu — că rețeaua de interacțiuni informaționale se dezvoltă pentru a asigura procesul de existență și nu invers. Pentru ca această afirmație să capete o bază concretă, vom fi nevoiți să facem o „călătorie" în domeniul structurii, evoluției și activității sistemelor nervoase așa cum apar în diferitele „secțiuni de cunoaștere". Evident, „călătoria" va fi rapidă și „opririle" selectate în funcție de ceea ce ne interesează, dar fără ea este greu de răspuns la problema pusă.

Oricît ar apărea de curios, disputa principală și cea mai aprinsă în privința relațiilor creier uman—creier artificial are loc, pe de o parte, între matematicieni secundați de ingineri și, pe de altă parte între filozofi secundați de psihologi. Cei care se ocupă în mod direct de sistemul nervos, biologii de toate specialitățile, participă la discuție — în general vorbind, întrucît sînt și excepții! — cu mult mai multă precauție, lucru dealtfel ușor de explicat: ei simt și cunosc cel mai bine complexitatea fenomenului cu care au de-a face!

Despre unele proprietăți ale celulei nervoase, ale neuronului, despre ceva din activitatea electrochimică a acestuia am vorbit într-un capitol precedent. Deși această activitate nu este încă nici ea pe departe cunoscută, la ora actuală se poate considera, ca o părere foarte larg răspîndită și aproape unanim acceptată, că nici cunoașterea mai deplină a structurii și a activității neuronului, luat ca unitate constituentă de bază a sistemului nervos, nu va fi nici pe departe suficientă pentru a explica activitatea sistemului nervos ca un tot [1].

[1] Creierul uman conține mult mai multe celule de alt tip decît neuroni, așa-numitele celule gliale; pînă nu demult se considera că acestea servesc doar la hrănirea și la întreținerea neuronilor; în ultimii 15 ani s-au adunat însă o serie de date care permit să se afirme că aceste celule participă și ele la activitatea propriu-zisă a creierului, în particular în procesele de memorare, esențiale în cadrul funcționării creierului. Dacă așa stau lucrurile, situația din punctul de vedere al explicării funcționării creierului ca un tot se complică și mai mult, modelele elaborate pînă în prezent — despre ele vom vorbi mai tîrziu — bazîndu-se pe considerarea unei rețele de neuroni cu proprietăți mult schematizate în raport cu proprietățile neuronilor reali; și asta mai ales dacă se ține seama de o serie de proprietăți ale celulelor gliale care permit să se presupună un rol subtil, dar esențial al acestora în coordonarea funcțiilor creierului: ele sînt în stare să efectueze deplasări limitate, de multe ori se dilată și se contractă mult mai mult decît o celulă dintr-un țesut conjunctiv obișnuit și de asemenea generează semnale electrice mici, dar bine definite.

Un șir întreg de cercetători și-au îndreptat atenția spre studiul sistemelor nervoase relativ simple, conținînd un număr redus de celule (la om numărul neuronilor este apreciat a fi de ordinul a $1{,}4 \cdot 10^{10}$, mai bine de zece miliarde!), în speranța că pe sisteme relativ simple, mult mai simple ca număr de elemente decît calculatoarele (aici numărul elementelor, să zicem, „corespunzătoare" este astăzi de ordinul a $10^4 \sim 10^6$), s-ar putea elucida mecanismele funcționării acestora. Într-una din aceste lucrări [1] s-a studiat comportarea stereotipă de apărare a unei moluște atît din punctul de vedere al modului în care acționează o celulă izolată din creier, cît și din cel al modului în care aceste celule interacționează între ele. Mai întîi s-au stabilit intrările și ieșirile informaționale pentru 50 de neuroni [2] din creier identificați individual și interacțiunile care au loc pe perechi între acești neuroni. Prima constatare a fost că numai o parte din neuroni iau parte la activitatea motorie, ceilalți avînd, probabil, funcții legate de generarea de hormoni prin care se controlează dezvoltarea pe timp îndelungat (reacția de apărare studiată are forma unor mișcări tipice de contractare-relaxare a mușchilor, avînd drept rezultat îndepărtarea animalului de excitant în circa 30 s). Tehnica folosită a fost cea a stimulării electrice prin electrozi implantați în diferitele celule și a înregistrării comportării animalului și a curenților (răspunsurilor) altor neuroni din creier. Care sînt principalele rezultate? Primul: excitarea anumitor neuroni dă naștere unei mișcări izolate specifice, una din seria de mișcări efectuate de animal în reacția de apărare, mișcare care încetează cînd excitația este oprită. Prin urmare, unele dintre celulele creierului au un control extrem de specific. Al doilea: excitarea unui neuron dintr-un anumit grup dă naștere întregii serii de mișcări, chiar dacă excitarea încetează cu mult înainte ca seria de mișcări să fie terminată (o excitație durează 0,25 s față de 30 s cît durează mișcările). Măsurătorile efectuate permit să se afirme că aceasta se întîmplă cu oricare dintre neuronii din grupul respectiv, întrucît neuronii sînt puternic interconectați. Se pare deci că, datorită legăturilor multiple, grupul prezintă bucle de reacție inversă care întrețin procesul. Experiențele au arătat că șirul de mișcări se desfășoară chiar în lipsa unor răspunsuri ale centrilor efectori: creierul desfășoară întregul grup de comenzi chiar izolat fiind, fără a avea reacția inversă de la mușchi prin sistemul nervos periferic. Asta nu înseamnă însă că prezența reacției de la mușchii efectori nu influențează mișcările. În cazul dat, bucla de reacție cu exteriorul doar *modulează* comportarea concretă pe tiparul prescris. Din acest exemplu relativ extrem de simplu pe scara sistemelor nervoase se vede deja complexitatea legăturilor, îmbinarea conexiunilor interne cu comportări programate cu conexiunile externe care nuanțează executarea concretă a comportării. Prin urmare, la un nivel încă extrem de redus pe scara dezvoltării sistemelor nervoase se constată deja fixarea de comportări programate în sistemul conexiunilor nervoase; la acest nivel, fixarea lor pare a fi în întregime determinată ereditar. Concluzia autorului studiului este aproximativ următoarea: starea cercetărilor sistemelor nervoase simple dă motive să se creadă că în cîțiva ani se va ajunge la o înțelegere suficient de clară a aparatului nervos și a mecanismelor acestuia în termeni „rezervați în mod curent pentru mașinile elaborate de om".

Am redat oarecum pe larg aceste experiențe pentru a sublinia, pe de o parte, complexitatea studiului acțiunii unui sistem nervos concret, chiar dacă el este atît de simplu încît numărul celulelor implicate în procesul respectiv este doar de ordinul zecilor și, pentru a reține, pe de altă parte, că activitatea studiată este de natură stereotipă și, ca atare, se pretează ușor la o maximă apropiere de funcțiile corespunzătoare din mașinile făcute de om. Să nu uităm însă că în mașinile făcute de om funcțiile respective sînt primare (în vederea *lor* este construită și se defășoară activitatea întregii mașini), în timp ce la moluscă sau la orice altă formație activă activitatea respectivă este secundară, integrată și înglobată, asigurînd întreținerea formației ca atare. Dar să nu anticipăm.

Evoluția sistemului nervos pe scara biologică se prezintă ca istoria trecerii de la formarea de grupări de neuroni,

[1] A.O.D. Willows, *Giant Brain Cells in Mollusks*, în „Scientific American", februarie 1971, p. 69.

[2] Neuronii „uriași": unii pot fi distinși cu ochiul liber, alții cu un microscop obișnuit. Dealtfel acesta este motivul pentru care s-a ales molusca pentru studiul legăturilor fiziologice care stau la baza actelor reflexe, după cum lipitoarea, datorită sistemului nervos central extrem de simplu, a fost aleasă pentru studiul specificității nervilor, transmisiei prin sinapse, plasticității și regenerării conexiunilor etc. (J.G. Nicholls și D. Van Essen, *The Nervous System of the Leech*, în „Scientific American", ianuarie 1974, p. 38).

avînd un rol din ce în ce mai mare în coordonarea generală a organismului (nu total, pentru că există și un al doilea sistem coordonator, cel glandular, cuplat și în interacțiune cu cel nervos, dar care lucrează pe altă „schemă" [1]), la

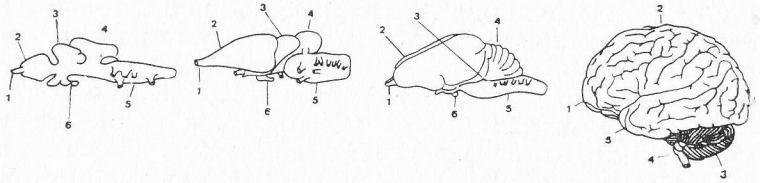


Fig. 23 — Evoluția sistemului nervos în care se pune în evidență dezvoltarea cortexului la om. Pește, reptilă, pasăre: *1* — lobul olfactiv; *2* — cortexul; *3* — lobul optic; *4* — cerebelul; *5* — măduva; *6* — hipofiza. Om: *1* — lobul frontal; *2* — cortexul; *3* — cerebelul; *4* — măduva; *5* — lobul temporal (după J.Z. Young).

formarea unui complex integrat, care preia în ultimă esență întreaga coordonare a desfășurării proceselor în organism.

Trecînd peste evoluția formelor primitive, se constată că sistemul nervos complex s-a dezvoltat la vertebrate din măduva spinării prin amplificarea unui capăt al acesteia (fig. 23). Se vede că de la o specie la alta apar „etaje" noi, fiecare etaj constituind o treaptă funcțională nouă. De reținut este următorul fapt constatat din studiul anatomic și fiziologic comparat al speciilor: inițial fiecare „etaj" nou apare a fi doar o extindere, o rafinare — în sensul prelucrării informației — a secțiunii imediat inferioare; ulterior, pe măsura dezvoltării sale, fiecare secțiune nouă elaborează, pe de o parte, funcții noi, integratoare în raport cu funcțiile mai vechi, iar pe de altă parte, preia în mod direct unele legături cu sistemul senzorial și motor; grosul legăturilor cu restul sistemului nervos continuă însă să se efectueze prin intermediul treptei imediat inferioare, care astfel devine un fel

[1] „Neajunsurile" principiale ale sistemului de reglaj humoral (chimic), filogenetic mai vechi decît sistemul nervos, care l-au făcut „insuficient" pentru desfășurarea vieții animale, sînt, după I. Asimov (*The Human Brain*, Signet S.L.B., New York, 1965, p. 112—113), următoarele: viteză extrem de scăzută — produșii chimici specifici trebuie mai întîi sintetizați și apoi pompați prin sînge în organul receptor; adresare difuză — deși destinat unui anumit receptor, produsul chimic respectiv este trimis în tot organismul; „revenire" dificilă — odată îndeplinită misiunea, produsul chimic respectiv trebuie înlăturat, descompus în produși direct eliminabili.

de stație „de prelucrare intermediară". Mai mult, unele funcții rămîn în continuare aproape numai de „competența" etajelor inferioare, etajele superioare preluînd coordonări mai generale, integratoare. În particular, se vede că ceea ce caracterizează creierul uman (fig. 23) este dezvoltarea creierului mare și a scoarței cerebrale. Spațiul nu ne permite să ne oprim asupra acestei evoluții. Pentru a concretiza sumar cele spuse, prezentăm o schematizare propusă pentru ilustrarea acestei dezvoltări (fig. 24) [1]. Din punctul de vedere al temei noastre este interesant următorul fapt, pe care în linii esențiale l-au confirmat studiile ultimilor zece ani: diferitele tipuri de comportare ale omului sînt în general „localizate", adică legate în principal de activitatea anumitor secțiuni ale creierului. Mai departe, din analiza acestor localizări se desprinde următoarea importantă concluzie: *comportările cu caracter mai pronunțat „automat" sînt legate de activitatea părților celor mai vechi ale sistemului nervos.* De exemplu, gesturile reflexe elementare involuntare (fig. 25), „arcul de reacție", sînt legate de activitatea măduvei spinării. Să zicem că ceva atinge pielea de pe talpa piciorului (în timpul somnului). Capătul „senzitiv" al nervului senzor transmite, ca urmare a excitației, un șir de impulsuri electrice spre neuronul intermediar din măduva spinării, care, la rîndul lui, excită neuronul motor; acesta va transmite impulsurile electrice — informația comandă — de-a lungul axonului spre fibrele musculare, unde, prin intermediul plăcilor motoare, determină contracția mușchiului și îndepărtarea piciorului. În organismul uman există, probabil, cîteva mii de asemenea arcuri reflexe; toate servesc la acțiuni de apărare, fără să ceară comenzi prea exacte și prea coordonate ale mușchilor, fiind „comandate" din măduva spinării. Multe dintre „arcurile" reflexe se închid în creier și sînt cuplate astfel, încît formează „lanțuri cu reacție inversă negativă". De exemplu, temperatura sîngelui este menținută de un asemenea „arc reflex" în jurul a 37°C cu o precizie de cîteva sutimi de grad! Temperatura sîngelui este măsurată în hipotalamus, situat în plin centru al sistemului nervos, în

[1] George H. Bishop, *Enviromental Feedback in Brain Function*, în *Self-organizing systems*, Pergamon Press, 1960, Oxford, p. 121—144; Dean E. Wooldridge, *op. cit.*, p. 113—119.

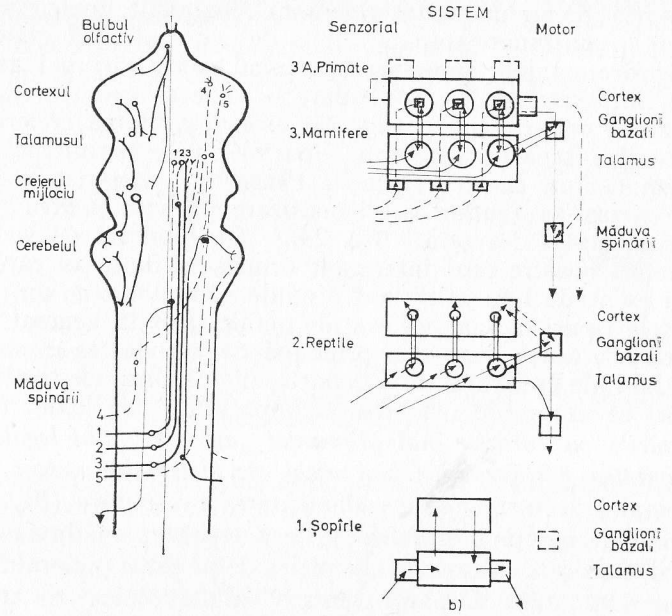


Fig. 24 — O reprezentare schematică a dezvoltării sistemului nervos central din celulele nervoase ce formau inițial „tubul" nervos din care s-a constituit măduva spinării (după G.H. Bishop): *a* — ordinea apariției „protuberanțelor" este de jos în sus; liniile continue și întrerupte reprezintă schema unor trasee aferente *(1, 2, 3, 4, 5)*; se vede că numai o parte din ele au căpătat legătură directă pînă la cortex *(4, 5)*, celelalte fiind legate cu acesta pe căi nedesluşite încă; traseele din linii întrerupte au apărut numai la mamifere; în partea stîngă a desenului sînt trasate unele legături directe dintre diferitele zone apărute succesiv în cursul evoluției; fiecare nouă secțiune „subsumează" și „integrează" funcțiile secțiunii subiacente; *b* — dezvoltarea legăturilor dintre talamus și cortex sub formă de schemă bloc.

zona cea mai apărată și vitală a creierului! În hipotalamus se află neuroni termosenzitivi care dau naștere unui potențial electric ce se modifică la schimbări de cîteva sutimi de grad ale temperaturii sîngelui din vasele irigatoare ale hipotalamusului. Acest potențial electric ajunge, prin complicata rețea de interconexiuni neuronice, la terminațiile nenumăratelor fibre nervoase din mușchii care acționează asupra glandelor sudoripare. Cînd temperatura sîngelui în hipotalamus crește peste 37°C, modificarea potențialului electric

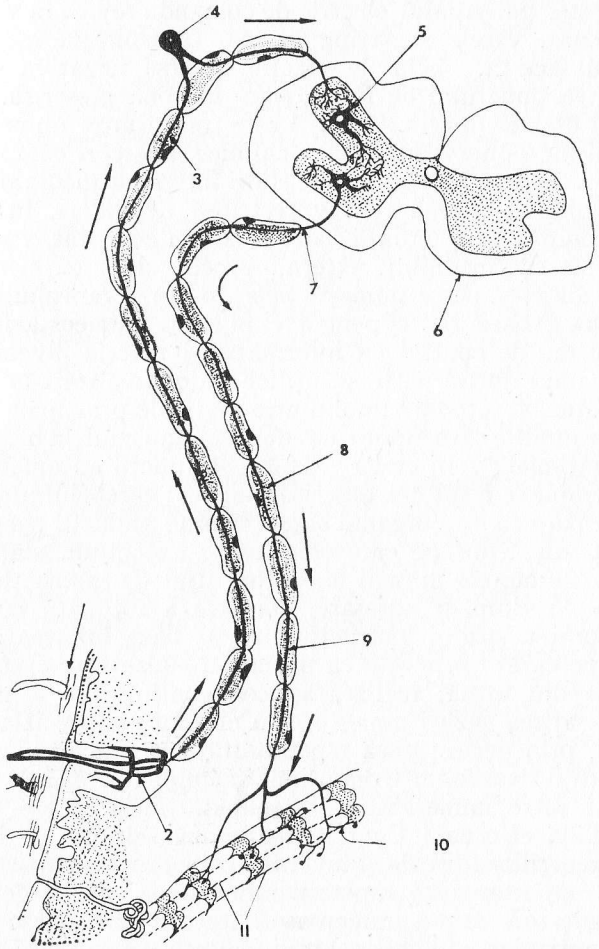


Fig. 25 — Schema arcului reflex, reacție involuntară comandată direct din măduva spinării: *1* — pielea; *2* — terminație nervoasă; *3* — neuron senzitiv; *4* — corpul neuronului; *5* — neuron intercalar; *6* — măduva spinării; *7* — neuron motor; *8* — teaca de mielină; *9* — axon; *10* — placă motoare terminală; *11* — fibră musculară.

respectiv determină dilatarea vaselor (omul se înroșește) și funcționarea glandelor sudoripare (transpiră); cînd sîngele se răcește, potențialul electric de comandă revine la valoarea anterioară, vasele se strîng la loc, transpirația încetează; în felul acesta, bucla de reacție inversă negativă asigură revenirea punctului de funcționare în zona prescrisă. Mecanismul descris (foarte sumar) [1] este unul dintre numeroasele mecanisme — nervoase, fizice, chimice, adeseori complexe — care concurează la menținerea stării interne a mediului organismului într-o zonă relativ restrînsă de valori, în pofida unor condiții cu fluctuații foarte mari în activitatea acestuia și în starea mediului extern, proces de menținere care constituie ceea ce se numește *homeostazia* organismului. Găsirea unei baze fizice pentru explicarea homeostaziei prin mecanisme de control cu informație și reacție inversă constituie unul dintre pașii științifici majori realizați în cadrul ciberneticii și totodată unul dintre motivele principale pentru linia de gîndire care tinde să reducă organismul la o „mașină informațională". În creier există însă funcții automate mult mai complexe decît cea descrisă mai sus: cerebelul, de exemplu, se pare că este organul care, primind indicații „generale" asupra mișcărilor pe care *voim* să le executăm, elaborează pentru numeroșii mușchi executori șirul de instrucțiuni ordonate în timp și adresare, corectează totodată continuu desfășurarea șirului instrucțiunilor pe baza informației aferente pe care o primește ca urmare a executării acestora și, în cele din urmă, realizează acea continuitate a mișcării care în atîtea cazuri uimește prin eleganța și precizia desfășurării, prin perfecțiunea repetabilității și a acomodării sale la condiții deosebite. Organismul și implicit creierul au însă de ales între numeroase — extrem de numeroase — acțiuni posibil de efectuat! Cum se realizează selecția și ierarhizarea reacțiilor (directe și inverse) moment de moment, astfel încît comportarea să capete caracterul pe care îl denumim continuitate? Există numeroase date din care reiese că sistemul reticular, ai cărui neuroni controlează în mare măsură trecerea semnalelor nervilor aferenți și eferenți, ar fi cel care decide, probabil printr-un proces de integrare a ansamblului semnalelor pe care le controlează, care anume din complexul de reacții inverse „automate" ale organismului să fie pus în mișcare în situația dată. Din cele cîteva date

[1] Pe larg este descris de către E. Bittman, *op. cit.*, p. 236—273.

de mai sus pe care le-am menționat pentru ilustrare, s-ar putea trage concluzia că activitatea vitală elementară a organismului rezultă din simpla *suprapunere* a mii de circuite de comandă cu reacție inversă. Acceptînd acest punct de vedere (în pofida cunoașterii încă foarte incomplete chiar și a acestor mecanisme care pot rezerva încă multe surprize, precum și a altor comportări care, cel puțin în prezent, nu pot fi ușor încadrate în astfel de mecanisme), am putea fi înclinați să extrapolăm și să tragem concluzia că și comportarea organismului ca un tot, finalitatea acestuia, rezultă tot din simpla suprapunere a acestor mecanisme elementare cu reacție inversă. Ceea ce și fac unii autori: funcțiile automate de dirijare ale creierului „sînt adevăratele funcții fundamentale ale creierului ... Numai din punct de vedere îngust uman gîndirea conștientă și așa-numita activitate superioară mintală ar avea o importanță mai mare ... Cînd dezvoltarea științei ne va conduce la o înțelegere clară a anatomiei detaliate a procesului logic, vom vedea, probabil, că cea mai mare parte a lucrului efectuat de creierul uman este datorată proceselor inconștiente de reglaj automat al proceselor fiziologice, fără de care viața n-ar fi posibilă" [1]. S-ar părea că poziția este clară; finalitatea este suprapunerea a numeroase, a foarte numeroase acte de reacție inversă negativă elementare. Totuși, același autor la sfîrșitul cărții sale scrie: „După toate probabilitățile, nu rezultă nici măcar că conștiința ar fi o proprietate inevitabilă a structurilor complexe aritmetice-logice. Dimpotrivă, faptele permit să se presupună că numai forme extrem de specializate de organizare a materiei posedă conștiință (forme ale materiei care urmează abia să fie determinate) atunci cînd acestea se găsesc într-o stare electrochimică corespunzătoare (care de asemenea abia urmează să fie determinată)!"[2].

Ce anume îndreptățește afirmația de mai sus a unui biolog, care a scris cartea sa în spiritul demonstrării asemănării dintre creier și calculatoarele electronice cu intenția de a contribui la dezvoltarea colaborărilor dintre biologi, matematicieni și ingineri?

Să considerăm mai departe funcțiile creierului. Comportările despre care este greu de afirmat, cel puțin la prima vedere,

[1] Dean E. Wooldridge, *op. cit.*, p. 72.

[2] *Ibidem*, p. 240. Amintim definiția lui Engels: viața este un *mod* de a fi al anumitor structuri materiale!

că ar fi „automate", dar care prezintă o mai mare asemănare la om și la animale (așa-numitele comportări „emoționale"), le găsim „localizate" în principal în părțile mai „vechi" ale creierului, părți care sînt în general mai puțin deosebite de sectoarele corespunzătoare ale creierilor animalelor inferioare, adică în zonele dezvoltate succesiv în prelungirea măduvei spinării. Cheia înțelegerii capacităților mintale superioare ale omului trebuie căutată în activitatea scoarței cerebrale, care a suferit cea mai puternică modificare în cadrul evoluției progresive spre om. Cercetările *experimentale* confirmă în mare tabloul de mai sus.

Patru au fost căile care au permis stabilirea rezultatelor respective: concluziile observațiilor medicale care au pus în concordanță tulburările de comportament cu leziunile anatomice constatate; concluziile intervențiilor chirurgicale făcute la oameni pentru rezolvarea unor boli altfel incurabile, iar la animale experimental; influența diferitelor substanțe chimice asupra „comportării", asupra stării psihice a pacientului, metodă care a dus la elaborarea unei serii într-adevăr „miraculoase" de medicamente, într-atît modifică acestea în unele cazuri starea psihică a celui care le folosește [1] și, în fine, folosirea metodei înregistrării și excitării activității electrice a creierului. Într-adevăr, aparatura modernă electronică și tehnica implantării de electrozi înregistratori sau excitatori în zone strîns localizate ale creierului, precum și

[1] La ora actuală, medical vorbind, situația apare paradoxală: cunoașterea structurii țesutului nervos, a celulei, mai exact a celulelor nervoase și a modului de constituire a acestora în țesuturi și în organe, este relativ avansată; incapacitatea fundamentală de refacere a celulei nervoase, a neuronului, caracteristică animalelor superioare (spre deosebire de capacitatea generală de refacere a celorlalte celule și a celulelor nervoase la animalele inferioare), face ca eficiența intervenției medicale în cazul lezării fizice a țesutului nervos să fie practic foarte redusă. Atunci cînd are loc, refacerea funcțiilor se produce nu pe baza refacerii țesutului lezat, ci prin preluarea funcției respective de către alt țesut nervos, rămas în stare de funcționare. Pe scurt, se cunoaște țesutul și nu se poate interveni. Cunoașterea funcționării sistemului nervos din punctul de vedere al comportării psihice a individului este departe de a fi la același nivel la care este cunoașterea țesutului nervos; cea dintîi este practic abia la început. Totuși, ultimii 20 de ani au adus elaborarea unei serii întregi de substanțe chimice cu efecte într-adevăr uluitoare în influențarea dirijată a comportării psihice de la patologie la normal. Pe scurt, din punctul de vedere al psihicului se știe relativ puțin despre structura și despre modul de funcționare al creierului, dar se poate influența relativ puternic funcționarea acestuia și implicit starea psihicului.

Este și acesta un moment în dezvoltarea generală a științei!

faptul esențial (asupra căruia vom reveni și din alt punct de vedere), confirmat de o largă și multilaterală experiență, că leziunile locale reduse (provocate, de exemplu, prin implantarea unor electrozi) *nu conduc la nici un fel de modificare vizibilă a capacităților funcționale ale creierului*, permit studiul funcționării pe viu a acestuia, excitarea și înregistrarea diferențiată pe zone a reacției electrice. Zonele respective, minuscule în raport cu ansamblul creierului, dar mari în raport cu dimensiunea unuia sau cîtorva neuroni, au permis astfel înregistrarea diferențiată a activității electrice în timpul diferitelor comportamente și, respectiv, înregistrarea comportamentelor care rezultă ca urmare a excitării electrice directe a diferitelor zone din creier. Comportarea *de ansamblu* a unor animale supuse experimentării și a unor bolnavi aflați în tratament a fost influențată, *dirijată* prin astfel de excitații electrice localizate. Avantajul acestei metode față de cea chimică, din punctul de vedere al studiului funcționării creierului și nu medical, este evidentă: spre deosebire de metodele chimice, în care este greu de urmărit *localizarea* acțiunii, în cele prin implantare de electrozi și prin excitare electrică însăși metoda conduce la aceasta. Rezultatele globale ale tuturor acestor studii sînt prezentate în linii foarte generale în figurile 26 și 27. Prima (fig. 26) reprezintă distribuția și suprafața relativă pe scoarță a zonelor legate de centrii senzori și motori, iar a doua (fig. 27) amplasarea (în mare) în creier a centrilor „comportărilor".

Referindu-ne la prima figură, constatăm că mărimea zonei de pe creier afectată diferitelor organe este proporțională cu importanța relativă a zonelor senzoriale și motoare respective ale organismului pentru desfășurarea modului *specific* de viață, adică de contrapunere *față de* și de integrare *în* mediu a formației active, a organismului respectiv. Se vede că la om (fig. 26) „grosul" este afectat mîinii și feței (în special gurii); un desen de aceeași structură ar arăta că la cal „grosul" este afectat nărilor, iar la porc rîtului.

Din considerarea „hărții" localizării funcțiilor pe creier se desprinde o specificitate relativ net conturată care prezintă următoarele caracteristici principale. Prima: cu cît funcțiile sînt mai vitale pentru organism (mai aproape de răspunsul primar „mi-e bine, mi-e rău"), cu atît centrul lor este amplasat înspre părțile mai „vechi" (în sens filogenetic) ale creierului. A doua: printre funcțiile relativ elementare sînt

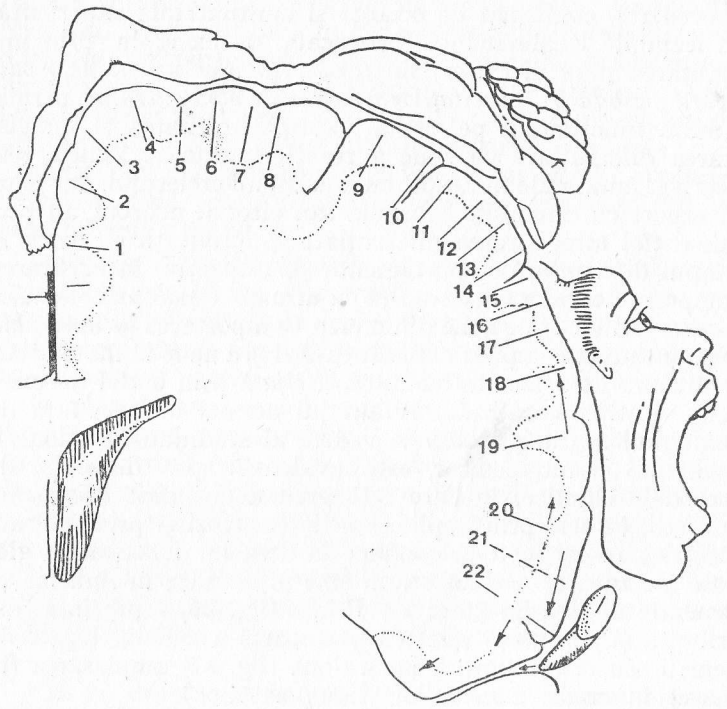


Fig. 26 — Reprezentarea „la scară" a zonelor motorii de pe cortex afectate diferitelor părți ale corpului (mărimea acestora este proporțională cu mărimea zonei corespunzătoare de pe cortex). *1* — degetul piciorului; *2* — glezna; *3* — genunchiul; *4* — coapsa; *5* — trunchiul; *6* — umărul; *7* — cotul; *8* — carpul; *9* — metacarpul; *10* — degetul mic; *11* — inelarul; *12* — medius; *13* — indexul; *14* — degetul gros; *15* — gîtul; *16* — fruntea; *17* — pleoapele și globii oculari; *18* — fața; *19* — buzele; *20* — mandibula; *21* — limba; *22* — deglutiția (după I.C. Patricu și I.C. Voiculescu).

și emoțiile (cel puțin în forma lor primară de ură, furie, afecțiune, acea dezvoltare a ceea ce am numit, atunci cînd discutam despre informație, reacția primară a oricărei formații active contrapuse și încadrate mediului, de tipul „mi-e bine, mi-e rău" [1]), centrii corespunzători fiind amplasați tot

[1] Formularea antropomorfică sperăm că nu înșală cititorul asupra sensului exact al acestei expresii!

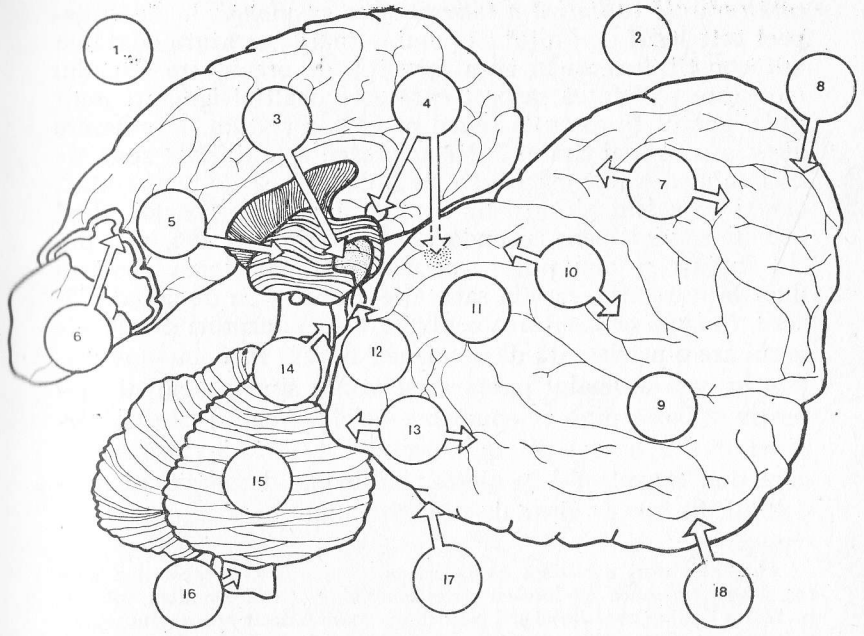


Fig. 27 — Amplasarea zonelor care răspund de așa-numitele „comportări primare"; se vede că sînt amplasate în regiunile mai „vechi" ale creierului: *1* — emisfera cerebrală stîngă; *2* — emisfera cerebrală dreaptă; *3* — hipotalamusul (rece, cald, foame, sete, stress, sex); *4* — ură, furie, afecțiune, sexualitate; *5* — talamusul (releele senzoriale); *6* — cortexul; *7* — mișcarea; *8* — lobul frontal; *9* — auzul; *10* — tactul; *11* — lobul parietal; *12* — hipofiza; *13* — văzul; *14* — formația reticulară (tonusul muscular, starea de veghe); *15* — cerebelul (coordonarea mișcărilor); *16* — legătura spre măduva spinării; *17* — lobul occipital; *18* — lobul temporal (după W. Grey Walter).

în zonele vechi. Pe această bază, unii afirmă că distanța dintre sfera emoțională a animalelor și sfera emoțională a omului ar fi nesemnificativă în raport cu distanța dintre sferele respective ale activităților de gîndire [1]! Dacă dintr-un anumit punct de vedere, restrîns, afirmația este exactă, din altul ea este total eronată: formarea omului ca specie n-a semnificat numai apariția gîndirii, a rațiunii, ci și o *modifi-*

[1] Desigur, în ceea ce privește animalele, chiar superioare, *gîndire* ar trebui pus între ghilimele, fiind vorba doar de forme rudimentare, de zoointelect.

care radicală calitativă a întregii sfere emoționale [1]. Acest aspect este legat de faptul că omul a apărut ca atare odată cu autoconstituirea sa în acea formație de organizare a viului care este societatea, aspect care este dealtfel ignorat, mult prea ignorat în discuția temei pe care o tratăm. Dar despre acest aspect mai tîrziu. A treia: prezența în diferite zone ale creierului a numeroși centri de „plăcere" și de „suferință", centri care sînt situați în zonele „noi" ale scoarței, fiind într-un anumit sens secundari: mai puțin specifici, mai puțin intensi și mai puțin „permanenți" (excitarea acestora duce la o relativ rapidă saturație, este vorba de cei ai plăcerii, în timp ce excitarea centrilor corespunzători din zonele vechi are o persistență de asemenea natură încît în experiențele în care animalul putea să-și excite singur centrul respectiv o făcea pînă la epuizarea fizică). Printre centrii *specifici* există și cei ai așa-numitelor „stări de încordare", care pun organismul în alertă, indiferent de specificul pericolului, în funcție doar de prezența unui pericol oarecare [2].

[1] Unii autori consideră că însuși procesul apariției rațiunii a avut loc și sub presiunea modificării sferei emoționale (N.S. Dumitru, *op. cit.*, p. 128: « Geneza conștiinței și a gîndirii nu poate fi decît *produsul* unei practici care pe plan psihic impunea de „milioane de ori" (Lenin) o schemă bazată pe disjuncția *individ-colectivitate*, „trăită" însă sub presiunile emotive și vitale cele mai acute! Fără o *vastă stimulare sensibil-emotivă* nu s-ar fi putut aprinde scînteia exploziei „de la instinct la rațiune" »).

[2] Se știe de mult că stări emoționale de încordare intensă prelungită dau naștere frecvent la un anumit tip de ulcer. La maimuțe, în mod normal, ulcerul respectiv nu apare. În hipotalamus există un centru a cărui excitare provoacă starea emoțională de încordare, fapt verificat prin excitarea electrică cu ajutorul unui electrod a centrului respectiv; în imediata apropiere a acestui centru se găsește un centru de comandă a secrețiilor acide din stomac. De aici ipoteza că excitarea continuă a centrului încordării *iradiază* excitații electrice spre zonele vecine, provocînd printre altele hiperaciditate și, ca urmare, ulcer. Experiențele făcute pe maimuțe au confirmat în mod strălucit această ipoteză. Relatăm pe scurt experimentul final concludent: două maimuțe au fost puse în situația de a primi simultan, cu o frecvență dată, șocuri electrice relativ neplăcute în labă (timp de șase ore; șase ore dormeau, conform ritmului obișnuit de viață al maimuțelor). Uneia dintre maimuțe i s-a dat însă un comutator, pe care a fost învățată să-l manevreze, astfel încît, dacă îl acționa la timp prevenea șocul. Drept urmare, una dintre maimuțe era în permanentă stare de încordare — să apese la timp comutatorul pentru a preveni șocul neplăcut! —, iar cealaltă trăia liniștită fiind mai mult sau mai puțin apărată de șocuri de acțiunea celei care manevra comutatorul. După cîteva săptămîni de lucru intens maimuța care prevenea șocurile, trăind în stare de încordare, s-a îmbolnăvit de ulcer, și anume de ulcer peptic, boală în rest necunoscută la maimuțe!

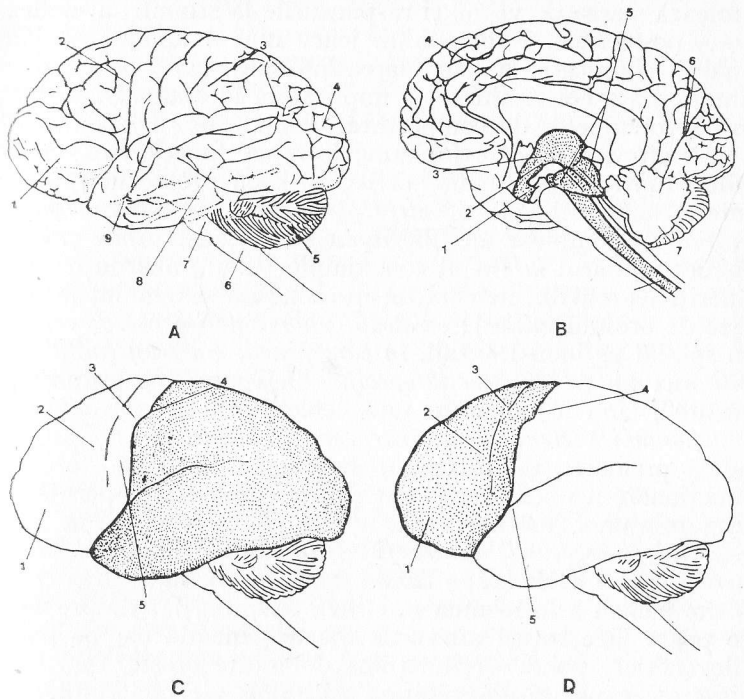


Fig. 28 — Cele trei mari „blocuri funcționale" ale creierului și funcțiile corespunzătoare. *A* — anatomia creierului uman în mare: *1* — lobul frontal; *2* — scizura centrală; *3* — lobul parietal; *4* — lobul occipital; *5* — cerebelul; *6* — măduva; *7* — puntea; *8* — lobul temporal; *9* — scizura cerebrală laterală. *B* — zona determinantă în reglarea stării de veghe și a răspunsului la stimuli (în gri): *1* — Uncus; *2* — hipotalamusul; *3* — talamusul; *4* — corpul calos; *5* — creierul mijlociu; *6* — scizura parieto-occipitală; *7* — cerebelul; *8* — formația reticulară. *C* — zona determinantă în analiza, codificarea și acumularea informației: *1* — regiunea prefrontală; *2* — regiunea premotorie; *3* — scizura centrală; *4* — scizura precentrală; *5* — regiunea motorie. *D* — zona determinantă în formarea intențiilor și planurilor: *1* — regiunea prefrontală; *2* — regiunea premotorie; *3* — scizura precentrală; *4* — scizura centrală; *5* — regiunea motorie (după A.R. Luria).

În creier se poate distinge existența a trei mari „blocuri" funcționale participante la organizarea comportamentului (fig. 28) [1]: primul, incluzînd zonele vechi ale creierului, con-

[1] A.R. Luria, *The functional Organization of the Brain*, în „Scientific American", martie 1970, p. 67.

trolează starea de veghe și răspunsurile la stimuli; al doilea, zona posterioară a cortexului, joacă un rol fundamental în analiza, codificarea și acumularea informației; al treilea, zona anterioară a cortexului, este implicat în formarea intențiilor și a programelor de comportare. Cercetările au pus în evidență cîteva elemente fundamentale ale funcționării creierului, dintre care, în directă legătură cu problema care ne interesează, reținem: o *interdependență* și o *interconexiune* extrem de complexe ale diferitelor zone (constatabile și anatomic: numărul *mediu* al conexiunilor unui neuron cu alți diferiți neuroni din creier și din alte zone ale sistemului nervos este de ordinul *miilor*); *existența unor zone imense de cortex*, în special pe lobii frontali, *în care practic nu s-au putut stabili nici un fel de funcții specifice*, așa-numitele „suprafețe tăcute", cum le-au numit unii cercetători [1]; *insensibilitatea funcționării creierului la distrugeri* și *plasticitatea acestuia*, adică preluarea de către părțile rămase în bună stare de funcționare a unor funcții extrem de complexe dispărute ca urmare a unor distrugeri relativ masive în creier; și, în fine, *raportul și legăturile dintre funcțiile ereditare ale sistemului nervos* și *cele dobîndite în cursul funcționării*, mult prea complexe pentru a le rezuma în cîteva cuvinte, dar despre care se poate face totuși afirmația foarte generală că, pe scară filogenetică, ponderea funcțiilor dobîndite crește, mai precis cresc capacitățile ereditare *potențiale* ale creierului.

Prezentăm în continuare ceva despre toate aceste aspecte în limita și în măsura în care datele respective vor fi folositoare ulterior, cînd vom discuta raporturile creier uman—creier artificial.

Primul moment: interconexiunile. Trebuie să distingem două niveluri, numite *micro* și *macro*. Spuneam mai înainte că numărul mediu de intrări și de ieșiri ale unui neuron este de ordinul miilor (s-a stabilit în creier existența unor neuroni legați cu cel puțin 15 mii de legături de alți neuroni!). Dacă reținem că acțiunea *unui* neuron este determinată de starea miilor de intrări (unele excitatoare, altele inhibitoare), fiecare depinzînd de starea neuronului de la care provine și de nivelul general al pragului de excitabilitate al sistemului nervos, stare care, la rîndul ei, depinde de activitatea întregului organism — procese de asimilare, dezasimilare, substanțe prezente întîmplător sau nu (medicamente) — și că, la rîndul ei, acțiunea neuronului se transmite în sute, mii sau zeci de mii de alte locuri, ne dăm seama că această rețea de legături micro (adică între celulele elementare) are o astfel de complexitate, încît fără un proces integrator de organizare situația ar fi catastrofală. Procesul ordonării se efectuează probabil prin inhibarea dirijată a activității neuronilor, care altfel ar forma un imens „cazan cu material exploziv ce ar exploda permanent în crize furibunde de epilepsie", principala inhibiție necesară și în mod normal prezentă fiind aceea a selectării informației senzoriale, funcție îndeplinită, se pare, de formația reticulară de care am amintit. Oricum ar fi, o astfel de rețea, prin însăși natura complexității sale cantitative, este puțin probabil să nu dea naștere la forme integrate calitativ noi, pe care deocamdată le cunoaștem prea puțin [1].

Proprietățile unui nivel elementar permit într-un anumit sens inducerea și explicarea formării nivelului complex superior, dar proprietățile acestuia din urmă nu sînt o simplă consecință prin suprapunere a proprietăților elementare. Proprietățile elementare își pierd o parte din specificitate prin integrarea lor în nivelul superior și, ceea ce este esențial, prin *integrare* dau naștere unor proprietăți noi, *specifice* nivelului respectiv. Acestea devin elementare în cadrul nivelului dat și, la rîndul lor, printr-o nouă integrare dau naștere nivelului superior următor. Negarea trecerilor calitative de la un nivel la altul constituie punctul de vedere reducționist, care și-a dovedit inconsistența în toate domeniile.

Trecînd la organizarea în mare a creierului, trebuie să distingem iarăși două aspecte. Primul se referă la structura anatomică și funcțională caracterizată printr-o simetrie clară (fig. 29), în care, de exemplu, periferia se leagă cu centrul după regula: „spatele în față, stînga pe dreapta, josul în sus, interiorul în afară și invers acelor de ceasornic". Simetria aceasta se observă și în procese mult mai complexe: de exemplu, pare demonstrat că memorarea se face și ea simetric simultan pe ambele emisfere, și anume chiar în timpul

[1] M.G. Walter, *The mechanisms of the mind*, în *From molecule to man*, Crown Publ., New York, 1969, p. 118—119 *(the silent areas)*.

[1] Această idee ne este sugerată de experiența altor domenii, printre altele, de exemplu, de cel al fizicii : complexitatea legăturilor din interiorul atomului, care explică comportarea acestora în diferitele situații, devine în sine insuficientă în explicarea noilor proprietăți pe care le capătă formațiile în care mii de atomi se cuplează într-un anumit mod pentru a da naștere unor molecule gigantice.

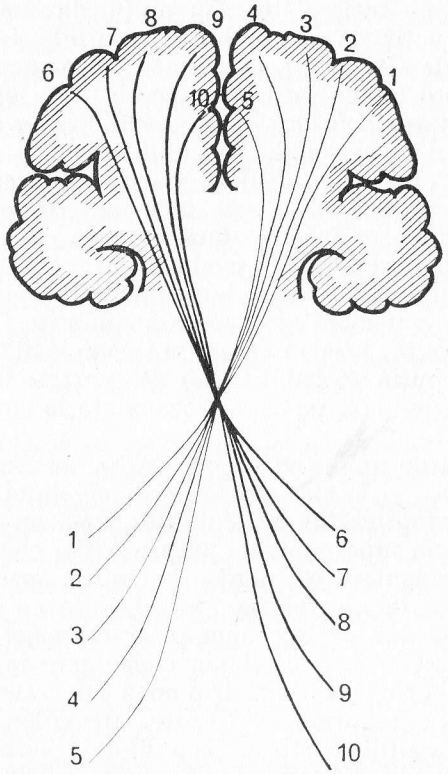


Fig. 29 — Simetria organizării legăturilor sistemului nervos central cu zonele corpului: *1, 6* — degete; *2, 7* — mînă; *3, 8* — braț; *4, 9* — picior; *5, 10* — laba piciorului.

procesului memorării. Lucrurile au fost puse în evidență experimental. Se cunoaște procesul formării reflexului condiționat: unui stimul care provoacă o reacție specifică i se asociază în mod repetat un alt stimul și, după o perioadă de „învățare", este suficientă numai prezența celui de-al doilea stimul nespecific pentru a provoca reacția specifică stimulului primar. Potrivit simetriei de care vorbim, nervii optici se încrucișează și ei, astfel că informația primită din semizonele drepte este trimisă în emisfera stîngă și invers. Dacă se secționează chiasma optică, zona de încrucișare a nervilor optici, ochii nu mai trimit excitația respectivă decît într-o

singură emisferă. În aceste condiții, formarea cu un singur ochi (celălalt fiind acoperit) a reflexului condiționat arată însă că reflexul este regăsit și cînd experiența se repetă acoperind ochiul inițial liber și descoperind pe cel inițial acoperit! Prin urmare, înregistrarea a avut loc în ambele emisfere. Dacă însă se secționează atît chiasma optică, cît și formația nervoasă care leagă „în paralel" cele două emisfere, reflexul învățat cu un ochi apare înregistrat numai în emisfera legată cu acesta; mai mult, se poate elabora cu fiecare ochi cîte un alt reflex condiționat, acestea putînd fi chiar diametral opuse: pisica reacționează în cadrul experimentului de fiecare dată în conformitate cu reflexul elaborat de ochiul și de emisfera cerebrală solicitată. Amplificarea acestor experiențe prin elaborarea în cele două emisfere a două seturi de reflexe diferite ar putea conduce la elaborarea a două „individualități" într-unul și același animal, cîte una pentru fiecare emisferă a creierului!

A doua structură este aceea caracterizată nu prin simetrii, ci prin coordonări funcționale destinate îndeplinirii unor acțiuni complexe. Studiile complexe efectuate în clinici pe sute și sute de bolnavi au permis începutul punerii în evidență a structurii organizării funcționale a creierului și deschiderea unui nou domeniu de cunoaștere, a neuropsihologiei[1]. Astfel, potrivit reprezentărilor clasice, mișcările voluntare își au originea în marile celule piramidale, ai căror axoni lungi conduc impulsurile de comandă la măduva spinării. Astăzi se știe că la mișcările voluntare participă (fig. 30), după A.R. Luria, acești neuroni, care constituie doar zona motrice de ieșire a comenzilor (zona 1), și alte zone mai largi ale scoarței: zona 2, care primește semnalele aferente senzoriale de la diferiții mușchi, închizînd astfel bucla de reacție fără de care este imposibilă efectuarea unei mișcări voluntare (leziuni ale acestei zone împiedică organizarea mișcării, deoarece sînt solicitați simultan toți mușchii indiferent de starea lor); zona 3, care este implicată în organizarea spațială a mișcării (leziuni în această zonă duc la confuzii între dreapta și stînga etc.); zona 4, care asigură desfășurarea secvențială, ordinea în timp a mișcărilor (leziuni ale acestei zone împiedică bolnavul să oprească o mișcare și să facă tranziția spre alta); zona 5, care asigură programul, succesiunea diferitelor comenzi

[1] A.R. Luria, *The Functional Organization of the Brain*, în „Scientific American", martie 1970.

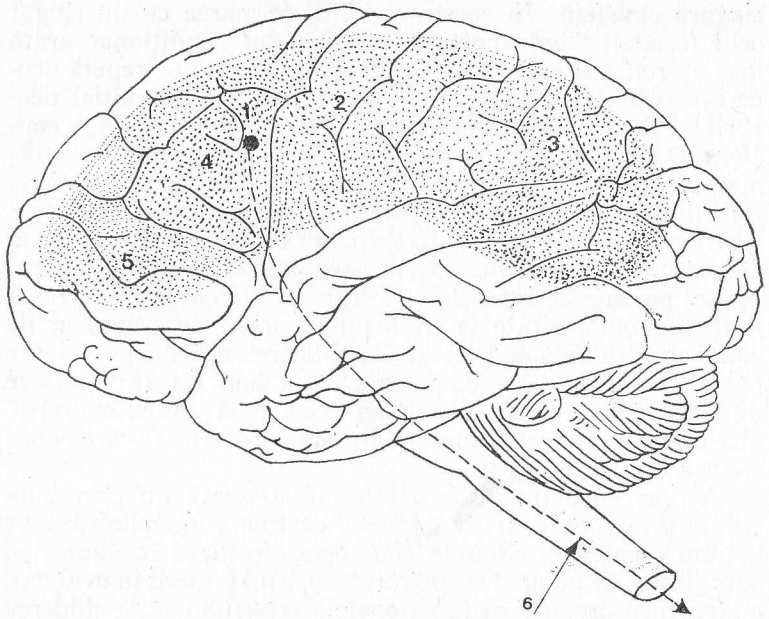


Fig. 30 — Zonele creierului „implicate" în execuția și controlul unei mișcări voluntare: *1* — transmiterea comenzilor de execuție diferiților mușchi; *2* — reacția senzorială de la mușchi; *3* — orientarea spațială a mișcării; *4* — „asamblarea" într-un tot continuu a diferitelor mișcări; *5* — „programarea" mișcării; *6* — marile celule piramidale (după A.R. Luria).

astfel ca mișcarea să capete caracter intenționat (leziuni în această zonă duc la repetări fără sens a unor mișcări deja efectuate sau la reacții impulsive la stimulii exteriori; este dezorganizată comportarea intenționată). Tot astfel au fost puse în evidență numeroase coordonări funcționale care intervin între diferitele zone ale creierului în procesul vorbirii sau al scrisului, în special în procesul scrierii la dictare, cînd intervin procese relativ complexe de recunoaștere a fonemelor, de transcripție, de codificare a acestora în litere și de efectuare a mișcărilor de scriere. Fără a intra în amănunte, reținem că lezarea unei anumite zone influențează toate comportamentele care implică funcționarea zonei respective și lasă nealterate pe toate celelalte, însă comportamentele nu se grupează după asemănarea lor aparentă! Astfel s-a dovedit că mecanismul

perceperii sunetelor muzicale este complet diferit de cel al perceperii sunetelor vorbite (se cunoaște cazul unui eminent compozitor rus [1], care, ca urmare, a unei hemoragii cerebrale în lobul temporal stîng, nu mai înțelegea vorbirea, dar putea să compună și a compus în continuare admirabile simfonii). Unele comportamente aparent nelegate se dovedesc în fapt legate printr-un anumit factor comun din creier. Bunăoară, sînt legate între ele capacitatea de orientare în spațiu cu aceea de a efectua calcule și cu aceea de a efectua analiza gramaticală a unui text, toate implicînd recunoașterea și rezolvarea unor probleme de „vecinătate": expresia „tatăl fratelui" se deosebește în principal prin modul de așezare de expresia „fratele tatălui", deosebirea de sens rezultînd dintr-o relație cvasispațială! Cercetările neuropsihologice au pus în evidență și următorul fapt, deosebit de interesant pentru noi: învățarea modifică organizarea activității creierului, acesta ajungînd să efectueze acțiuni cu care s-a obișnuit fără a recurge la procese de analiză și sinteză, adică în efectuarea unei sarcini învățate se recurge la un stereotip bazat pe alte zone corticale decît cele care au fost implicate inițial, cînd la elaborarea acestuia a participat și aparatul analitic. Exemplul clasic ilustrativ este cel al pacientei care, solicitată în mod repetat să pronunțe „nu", nu reușește realizarea la comandă a unui stereotip (!) pînă ce, exasperată, exclamă: „nu, doctore, nu pot pronunța nu"; (deci are loc efectuarea aceleiași acțiuni, însă ca urmare a unui proces de analiză!).

Al doilea moment. Studiile prin excitații electrice ale creierului au arătat că mari suprafețe sînt „tăcute", în sensul că, deși puternic excitate electric, suficient pentru a da naștere la stimulări electrice persistente și pe zone mari în țesutul creierului, nu se observă totuși, ca urmare a acestor stimuli, nici o modificare funcțională, pacientul continuînd să se ocupe liniștit de ceea ce se ocupa și pînă atunci. Astfel de zone „tăcute" se găsesc pretutindeni în creier, cele mai întinse fiind amplasate în lobii frontali. Zonele respective nu prezintă, prin urmare, nici un fel de conexiune punct cu punct cu zonele senzorimotoare sau de comportament specific. Lobii frontali însă (amintim că dezvoltarea lor deosebită reprezintă modificarea anatomică majoră în șirul evoluției speciilor, prezentînd la om un salt imens) sînt legați cu tot restul sistemului nervos. Spre acești lobi converg toate sem-

[1] A.R. Luria, *op. cit.*, p. 78.

nalele senzoriale și acolo are loc, după toate probabilitățile, prelucrarea specifică care dă naștere acțiunii și reflexiei specifice individului și situației date. Lobii frontali sînt cei care „dau" personalitatea individului. Îndepărtarea lobilor frontali sau secționarea legăturilor lor cu restul sistemului nervos — făcută experimental la animale, și la om doar ca intervenție medicală în cazuri extreme, altfel nesoluționabile — nu are, după cum s-a constatat, nici un efect asupra senzațiilor sau asupra mișcărilor. Ceea ce se observă este doar o slăbire a activității intenționale planificate și o schimbare a personalității, a temperamentului pacientului. Pacienții (pisici, maimuțe, oameni) care înaintea operației erau agresivi, agitați, morocănoși și reacționau violent la durere, dar selectiv în raport cu cei prezenți, față de care erau prietenoși sau dușmănoși, devin după operație bine dispuși, veseli, placizi, indiferenți la durere sau la pierderi grele, dar pot lovi sau face „figuri urîte" prietenilor sau lor înșiși; ei par a nu mai putea prevedea consecințele acțiunilor lor și rezultatul unei situații create!

În ceea ce privește memoria, pînă în prezent nu există nici un fel de explicație cît de cît suficientă a proceselor care o determină și nici nu se pot face afirmații nete asupra modului de localizare și asupra zonelor de localizare ale acesteia, deși un anumit material faptic, în afara aceluia de sistematizare a experienței curente prin introspecție, este deja adunat. Pare stabilit, de pildă, că există trei niveluri de memorie: unul de ordinul secundelor, legat probabil de activitatea „curentă" a neuronilor; unul de nivelul minutelor și zecilor de minute, în care un rol fundamental îl joacă repetarea informației senzoriale corespunzătoare elementelor de memorat; și unul de termen îndelungat, uluitor prin proprietățile sale: prin acuitatea unor amintiri, prin greutatea cu care apar în conștiință sau prin brusca și neașteptata lor apariție și prin tendința net conturată de a fi cu atît mai persistente cu cît sînt de dată mai veche. Există experiențe care arată că unele înregistrări au structura unui film care se derulează în timp într-o succesiune dată, și care se repetă, ori de cîte ori zona respectivă este excitată electric, în aceeași succesiune și cu aceleași raporturi temporale; există experiențe care arată că înregistrarea are loc indiferent de succesiunea în care a avut loc recepționarea informației senzoriale, înregistrări în care diferitele „decupaje" luate din unghiuri de vedere diferite și într-o succesiune temporală

necoordonată sînt parcă „montate" într-un tot unitar și fixate ca atare; există indicații că informația senzorială ar fi acumulată în apropierea zonelor în care sînt amplasate terminațiile nervilor senzoriali respectivi și, totuși, reproducerea este coordonată în timp și structură pe numeroase grupe de senzații diferite; în fine, există acea stare binecunoscută de fiecare: persoana *știe* că are undeva în „memorie" o dată de care are nevoie și pe care nu reușește s-o aducă în „conștiință", pentru ca altădată să-i apară clar și brusc, chiar nesolicitată [1].

În orice caz, părerea aproape unanimă atît a biologilor, neurologilor etc. care se ocupă cu studiul experimental al creierilor, cît și a matematicienilor, inginerilor etc. care se ocupă cu elaborarea modelelor teoretice și cu realizarea de modele de creier, este că o cheie importantă în împingerea cercetărilor înainte ar fi lămurirea mecanismelor memoriei. Și am adăuga, referindu-ne la multe date psihologice, că nu trebuie uitat, dacă ni se iartă jocul de cuvinte, că pentru existența individului este practic la fel de important atît „să știe" să uite, cît și „să știe" să memoreze (am pus „să știe" între ghilimele deoarece nu ne referim numai și nici măcar în primul rînd la actele voite legate de memorie). Acest mecanism, ca dealtfel toate celelalte, este supus și integrat activității globale de menținere a formației active în echilibru cvasistaționar cu mediul!

În legătură cu cele discutate merită să amintim și inegalitatea celor două emisfere cerebrale descoperită cu mai bine de un secol în urmă. S-a constatat că asimetria funcțională în folosirea mîinii drepte și stîngi are o corespondență în funcțiile celor două emisfere cerebrale: cei care „folosesc dreapta" au amplasați centrii unor importante funcții psihice în emisfera stîngă (ai vorbitului, scrisului, cititului, socotitului etc.), motiv pentru care aceasta a și fost denumită emisfera majoră sau dominantă. Trebuie reținut că această asimetrie a apărut tîrziu în dezvoltarea omului, picturile rupestre permițînd, de exemplu, să se afirme că omul din neolitic folosea în aceeași măsură ambele mîini.

[1] Cu privire la mecanismele de memorare vezi I. Baciu, *op. cit.*, p. 210—217; iar pentru tulburările de memorare datorate unor leziuni locale pe creier vezi *Mozg i pameati*, sub red. A. R. Luria, Iz. Mosk. Univ., Moskva, 1975.

În această privință, fapte experimentale deosebit de interesante au fost puse în evidență foarte recent în cadrul Institutului I. M. Secenov al Academiei de științe a U.R.S.S. prin folosirea metodei șocurilor electrice de intensitate redusă astfel dirijate încît să se obțină scoaterea din funcțiune pe timp limitat, circa o oră, a uneia din emisfere, la alegere.

Toate experiențele efectuate au condus la concluzia că în perceperea directă, intuitivă a fenomenelor realității rolul de bază îl are emisfera dreaptă în timp ce generalizarea verbalizată a acestor fenomene este efectuată de cea stîngă. În condițiile în care una din emisfere este inhibată, perceperea lumii înconjurătoare se stratifică într-un fel paradoxal. Dacă se „blochează" emisfera dreaptă, pacienții operează ușor cu informația simbolizată dar nu sînt în stare să efectueze o apreciere concretă a situației: ei pot indica ușor spitalul în care se află, dar nu sînt în stare să recunoască și să găsească pavilionul și locul pe care-l ocupă, nu recunosc personalul și încăperile cu care sînt obișnuiți; răspund fără să stea la îndoială la întrebările referitoare la an, lună și zi, dar privind pe fereastră și văzînd soarele strălucind, copacii desfrunziți și zăpada nu pot să se descurce și să indice cum este timpul, în care anotimp și în care moment al zilei se află; recunosc sensul celor ce li se spune dar nu recunosc vocea celui care vorbește etc. La inhibarea emisferei stîngi se observă particularități de orientare opuse: omul nu-și aduce aminte în ce spital se află, nu poate indica anul, luna și ziua, dar se orientează foarte bine în situația concretă [1]. După trecerea efectului șocului electric ambele tipuri de orientare, concretă și verbalizată, se restabilesc.

Unul din faptele cele mai impresionante și mai neașteptate a fost punerea în evidență a rolului diferit pe care îl au cele două emisfere în reglarea stărilor emoționale: cînd predomină activitatea emisferei stîngi (cea dreaptă este inhibată) starea de spirit este optimistă; dacă cea dreaptă este activă, predomină stări emoționale negative, omul se întunecă, devine irascibil. Din punctul de vedere al cunoștințelor actuale, acesta este un fapt și neașteptat și greu de explicat. Se poate doar afirma că specializarea emisferelor se extinde nu numai asupra învelișului cortical, ci și în structurile subcorticale ale creierului de a căror activitate sînt legate stările emoționale.

[1] Mai mult, inhibarea unei emisfere duce la creșterea acuității funcționării celeilalte; de exemplu, cu emisfera dreaptă inhibată auzul (vorbirii!) se îmbunătățește simțitor iar omul devine și extrem de vorbăreț.

Cercetările amintite au pus, prin urmare, în evidență faptul că la om fiecare emisferă posedă mecanisme proprii de analiză a fenomenelor lumii înconjurătoare, memoria sa, tonusul său emoțional. Distribuția funcțiilor este foarte netă: tot ceea ce este legat de operarea de semne, de simboluri, de cuvinte și, prin urmare, de gîndirea abstractă, depinde de activitatea emisferei stîngi. Nu mai puțin importantă este activitatea emisferei drepte: ea efectuează gîndirea cu imagini și depășește emisfera stîngă în capacitatea de a se orienta în lumea concretă, senzorială a fenomenelor.

Activitatea psihică normală a creierului, viața omului, se desfășoară în cadrul „colaborării" permanente a celor două emisfere, fiecare din ele desfășurîndu-și activitatea proprie și totodată „ponderînd-o" pe cealaltă.

Al treilea moment. Întreaga experiență medicală acumulată și nenumăratele experiențe de laborator organizate în mod special pun în relief o proprietate cu totul aparte a sistemului nervos: plasticitatea și capacitatea de preluare de către unele părți a funcțiilor altor părți care au fost distruse, precum și insensibilitatea totală (la scara la care se pot urmări astăzi efectele) la leziuni restrînse, locale. Se cunosc cazuri de animale (maimuțe, pisici) cărora li s-au implantat pînă la cîteva sute de electrozi în diferite regiuni ale creierului și a căror comportare nu a suferit nici o modificare cît de cît sensibilă a capacităților mintale respective. Dacă coroborăm aceste fapte și multe altele de acest gen cu faptul că la animalele superioare celula nervoasă nu se reface, ajungem la concluzia că creierul are o structură a cărui funcționare nu depinde de integritatea locală a elementelor; mai mult, deși în cadrul aceleiași specii structura creierului este dată în mare genetic, cu cît animalul este mai sus pe treapta dezvoltării, cu atît structura locală a creierului este mai puțin șablonizată de la individ la individ. Ceea ce apare greu de înțeles la nivelul actual de cunoaștere este cum o structură difuză, în sensul în care discutăm aici, poate îndeplini cu atîta precizie funcțiile respective, admițînd chiar și numeroase leziuni și întreruperi locale, cînd o condiție fundamentală a funcționării corecte a dispozitivelor artificiale arată necesitatea funcționării absolut corect a fiecărui element în parte! Multe studii teoretice încearcă explicarea modului cum ar putea rezulta această proprietate a funcționării corecte a ansamblului în condițiile în care se admite un procent de funcționări eronate ale elementelor care constituie

ansamblul. (Amintim cititorului că a doua teoremă a lui Shannon arată posibilitatea și calea prin care pe un canal nesigur, deci cu perturbații, poate fi transmis un mesaj cu erori oricît de mici; natura, pare-se, „a folosit" această a doua teoremă, pachetele de nervi avînd o capacitate de transmisie care depășește cu mult debitul de informație de transmis și, în acest caz, există posibilitatea principială de corectare a erorilor; ceea ce discutăm aici nu este însă transmiterea, ci prelucrarea informației; un centru nervos nu este un simplu transmițător de informație, el prelucrează, transformă calitativ și cantitativ fluxul informațional.) Plasticitatea sistemului nervos constă în preluarea de către alte țesuturi a funcțiilor țesuturilor lezate. Preluarea aceasta nu se face totdeauna de țesuturile „vecine": la copiii care au suferit de mici leziuni ce au distrus zonele aferente din emisfera stîngă, care dirijează vorbirea, se constată preluarea acestei funcțiuni de către zona corespunzătoare din emisfera dreaptă, zonă care, la copiii normali și în consecință la marea majoritate a adulților, nu are nici o contribuție sau legătură cu vorbirea! Cu alte cuvinte creierul — această structură care este în primul rînd adecvată analizei informației aferente și integrării acestei informații în scheme de comportare utilă, ca și realizării procesului dirijării în vederea conservării formației active prin integrarea interacțiunilor informaționale într-un mod de comportare finalizat — prezintă ceea ce în termenii teoriei informației s-ar numi o capacitate de redundanță atît la scara microstructurii, cît și la scara macrostructurii; la prima scară, cea microscopică, există o redundanță răspîndită uniform pe întreaga structură, iar la a doua, cea macroscopică, o redundanță distribuită diferențiat. Tendința care pare a se desprinde din faptele cunoscute în prezent s-ar putea formula astfel: *cu cît funcția este mai integratoare și mai indirect legată de un cuplaj punct cu punct al centrilor care răspund de senzații sau acțiuni cu organele periferice respective sau de funcții „standard" ale organismului* (respirație, metabolism etc.), *cu atît capacitatea de prelucrare plastică este mai mare.* Cu alte cuvinte, plasticitatea este cu atit mai mare, cu cît ne apropiem de funcțiile „superioare" în sensul de mai îndepărtate de conservarea directă, nemijlocită a formației[1].

[1] Vom vedea imediat că la formațiile active inferioare la care țesutul nervos și celula nervoasă se refac (refacerea însemnînd capacitatea de divizare), lucrurile par că nu se prezintă la fel.

În sfîrșit, al patrulea moment. Sistemele nervoase prezintă proprietăți funcționale ereditare și proprietăți funcționale dobîndite. Comportarea aparent rațională a organismelor inferioare poate fi explicată prin mecanisme automate în sensul în care am mai vorbit, adică prin mecanisme care se repetă stereotip chiar dacă împrejurările noi fac ca mecanismul respectiv, care în condiții normale asigură existența formației active, să ducă la distrugerea formației. Mecanismele acestea sînt reflexele (despre care am mai vorbit) și tropismele, care constituie reacții automate deosebite de simplele reflexe numai prin aceea că influențează asupra mișcării organismului ca un tot. Un tropism tipic este cel al rîmei, care se îngroapă în frunzișul putred sau în pămînt, unde își găsește hrana în resturile organice în putrezire și nu rămîne la suprafața solului unde constituie o pradă ideală pentru păsările. Comportarea astfel prezentată pare rațională. În realitate, așa cum am arătat, este un tropism, o comportare automată, stereotipă, datorată faptului că mușchii care dirijează poziția „capului" rîmei și-i determină direcția primesc comenzile electrice de la două receptoare fotosensibile așezate pe cele două părți ale capului; datorită acestui fapt, capul este întors pînă ce cantitatea de lumină primită pe ambele părți se egalează, pînă cînd rîma ajunge în zona întunecată în care găsește hrană și adăpost. Există tropisme și mai complexe, care, pe lîngă o comportare dată în condiții date, prezintă o succesiune de comportări deosebite de la o fază la alta. În condițiile normale de viață ale acestor formații active, tropismele respective le asigură existența; în condiții modificate, ele pot duce la distrugerea formației active tocmai datorită caracterului lor stereotip. Aceste tropisme sînt formate pe specie și transmise ereditar, foarte probabil prin modul înnăscut de structurare a legăturilor nervilor și mușchilor[1]. Reflexele și tropismele se întîlnesc și la

[1] Un animal nevertebrat poate să moară de foame în plină abundență dacă se întîmplă să lipsească acele plante sau animale care constituie materialul particular care servește drept hrană pentru specia sa. Sau: o insectă poate să-și condamne rasa (sau cel puțin o colonie locală a sa) la dispariție datorită absenței unui stimul particular necesar pentru a pune în mișcare chipul propriu *(its pattern)* de construire a cuibului sau de depunere a ouălor. În timp ce viespea *Sphex* își înzestrează larvele cu greieri, *Ammophila* trebuie să găsească și să paralizeze o omidă înainte de a continua în rutina sa de construire a cuibului și de depunere a ouălor; viespea *Sceliphron* recunoaște drept hrană corespunzătoare pentru larvele sale doar păianjenii, iar *Podium* folosește roșioară..." (D.E. Wooldridge, *The Machinery of the Brain*, McGraw-Hill Book Comp., New York, 1963, p. 84).

animalele superioare. Atunci cînd acestea capătă un caracter foarte complex, ele apar ca niște programe de comportare transmise ereditar. Cele mai complexe programe de comportare cunoscute implică nu numai comportarea de unul singur a individului, ci comportarea individului în cadrul unui ansamblu coordonat pe colective mari de indivizi, cum sînt coloniile de insecte, de pildă furnicile și albinele. Ceea ce vrem să subliniem este că un astfel de program complex de comportare de la naștere și pînă la moarte (ne referim deci la o parte a activității generale a organismului) este „cablat" și efectuat în creierul furnicii doar cu 250 de neuroni și în creierul albinei doar cu 900 de neuroni![1]. Faptul că un program cablat de aceeași anvergură construit artificial ar cere un număr de elemente cu multe ordine de mărime mai mare arată încă o dată cît de complexă și de potențială este în sine structura neuronului și modurile de interconectare ale acestuia!

În fine, înainte de a discuta caracterele dobîndite, am vrea totuși, pentru clarificare, să subliniem un anumit moment: fiecare reflex, fiecare tropism luat în sine apare ca un act automat; de aici, tendința, pe linia experimentală (vom vedea mai tîrziu cum aceeași tendință apare și pe linie teoretică din cu totul alte considerente, venind din matematică) de a considera orice comportare mai complexă ca rezultînd din suprapunerea și din însumarea a numeroase astfel de acte automate. Într-adevăr, fiecare act reflex, fiecare tropism luat în sine și izolat apare ca un simplu act automat; considerat însă în ansamblul comportării formației active respective, acesta nu constituie decît un element din ansamblul imens de procese, imens chiar la cele mai inferioare formații active, care toate se îmbină și se încheagă într-o structură *unitară, integrată,* pentru menținerea formației active ca atare în contact cu mediul la care aceasta s-a adaptat. Istoria științelor naturii arată că schimbarea bruscă și radicală a mediului poate duce și a dus în fapt de multe ori la dispariția unor specii întregi, în timp ce modificarea radicală, dar relativ lentă a mediului a determinat apariția unor specii noi, adaptate la noile condiții. *Deci automatismul respectiv apare drept rezultat al unei probleme rezolvate.* Asupra sensului exact al acestei afirmații și a ponderii pe care o are

[1] Dean E. Wooldridge, *op. cit.*, p. 86.

în tema noastră fundamentală (raportul creier uman — creier artificial) vom reveni.

Să trecem acum la caracterele dobîndite, și anume la comportamentul formației ca urmare a „învățării" sistemului nervos. Despre reflexul condiționat am amintit mai înainte. Primul lucru pe care vrem să-l menționăm este că reflexul condiționat, reflexul învățat, pus în lumină de studiile lui Pavlov, nu constituie numai o proprietate a ființelor evoluate. Reflexe condiționate se pot obține și la rîme: se construiește un tunel în formă de T, la capătul din stînga se pun materii organice hrănitoare, iar la capătul din dreapta sticlă pisată. Dînd drumul în tunel rîmei prin „piciorul" T-ului, după circa 150 de căutări rîma o ia în mod sistematic spre stînga, unde găsește hrană, și nu spre dreapta unde trebuie „să se plimbe" pe sticlă pisată (cu condiția însă ca ramurile laterale ale T-ului să fie suficient de lungi, încît ansamblul de mișcări ce determină cotirea la dreapta sau la stînga, mișcări care nu se repetă niciodată identic, să aibă timp să se imprime în ganglionii nervoși ai rîmei!). Mai mult, dacă se face experiența cu rîme care după secționarea în două se refac, fiecare dintre cele două rîme refăcute păstrează reflexul condiționat dobîndit![1].

La animalele superioare (maimuță, om), reflexele condiționate și, în general, procesele de învățare au fost studiate pe diferite planuri, inclusiv pe cel al urmăririi proceselor electrice din creier (trebuie subliniat că aceste studii s-au făcut pe planul proceselor *globale,* prin înregistrarea encefalogramelor, a distribuției și a caracterului curenților bioelectrici pe diferitele trasee, în stare de somn, de veghe relaxată, de excitație la diferiți excitanți vizuali, auditivi etc., de proces de învățare etc.). Rezultatele respective, interesante și utile din punct de vedere medical, aduc anumite contribuții și în ceea ce privește explicarea schemelor automate de comportare în procesele de învățare, ca dealtfel și în alte comportări. Însă tratarea temei raporturilor creier uman—creier artificial nu se poate face și nici nu are sens să fie făcută prin reducție la nivelul comportărilor stereotipe. Iar în ceea ce privește comportarea în problemele reale în care trebuie luate decizii, probleme care nu prezintă caracter stereotip, probleme în

[1] La rîme se reface și țesutul nervos! Și se reface inclusiv cu cel puțin o parte din caracterele dobîndite! (Vezi D.E. Wooldridge, *op. cit.*, p. 204—206).

care trebuie rezolvate situații noi, studiile de bază s-au făcut deja pe un alt plan, acela al comportării psihologice, pe care-l vom aborda mai tîrziu.

Deoarece discutăm problemele reacției inverse și ale finalității, nu putem să nu atingem însă un aspect, care, din păcate, rămîne în mod nejustificat în afara atenției celor care discută tema în dezbatere, și anume problema reacției inverse și a finalității, considerată nu numai în cadrul structurii și comportării formației active ca individ, ci în comportarea populației și, mai departe, a speciei ca un tot.

Într-adevăr, evoluția speciilor și numeroasele fapte cunoscute din viața speciilor dovedesc că acestea nu formează doar simple aglomerări de indivizi asemănători, ci formații (populații) cu proprietăți globale și cu evoluții de comportare pe întreaga formație. La ora actuală, numeroase fapte pot fi considerate ca stabilite, dar nu s-ar putea afirma că toate sînt și explicate. Dintre acestea vom reține doar o problemă pentru a încerca să desprindem dacă acest aspect are sau nu vreo semnificație și care anume ar fi această semnificație pentru tema tratată.

Se știe că reproducerea speciilor are loc fie prin diviziune, fie prin încrucișare asexuată (unul și același individ este mascul și femelă)[1], fie prin încrucișare sexuată. Există specii care prezintă două forme de reproducere, asexuată și sexuată, cele două forme apărînd în funcție de condițiile de existență; dacă mediul este corespunzător: temperatură potrivită, abundență de hrană, reproducerea este asexuată; dacă din diferite motive condițiile mediului devin necorespunzătoare, specia în zona respectivă trece la înmulțirea sexuată[2]. Date statistice referitoare la populațiile de mamifere și mai ales datele statistice relativ bogate referitoare la populațiile umane arată de asemenea că astfel de dependențe ale reproducerii speciei (de exemplu, proporția de băieți și fete, care

[1] De exemplu rîmele și homarii.

[2] De exemplu, la unele *Aphaniptera* (purici), ca și la unele *Aphidodea (Phyloxeridae)*, în condiții favorabile are loc înmulțirea cu un singur sex, așa-numita partenogeneză (puii, numai femele, ies din așa-numitele „ouă de vară" cu înveliș moale). Odată cu apariția unor condiții mai puțin favorabile, unele femele dau naștere unui număr de masculi, care pe urmă fecundează femelele. Femelele fecundate depun „ouă de iarnă", cu înveliș dur, care rezistă timp îndelungat la condiții nefavorabile. Prin transportarea unei populații de *Rotatoria* din apă de lac în apă de rîu sau invers, se observă în a treia sau a patra zi apariția de masculi în populație (înaintea „transportului" în populație nu existau masculi).

este practic constantă la om, cam 106 băieți la 100 fete) prezintă oscilații *sistematice* cu condițiile generale de trai: în anii climatici grei — foarte calzi și secetoși sau, dimpotrivă, geroși și cu abundență de precipitații — proporția băieților crește; de asemenea, în timpul celor două mari războaie mondiale, la populația europeană cuprinsă în război s-a observat o creștere a proporției băieților cu 1 pînă la 2,5%. Pe de altă parte, datele statistice demografice și medicale arată de asemenea comportări medii deosebite ale părții masculine și feminine a populației față de schimbarea condițiilor generale de existență (atît la animale, cît și la om), și anume: proporția de adulți care rezistă mai greu unor condiții grele de viață (foamete, oboseală etc.) și, în consecință, pier este mai mare la populația masculină decît la cea feminină. Cu alte cuvinte, situația poate fi formulată în general cam așa: modificările din mediu pe linia unor condiții mai grele de viață, indiferent de natura lor concretă, determină simultan atît o creștere mai mare a mortalității, cît și o creștere mai mare a natalității în partea masculină a speciei față de creșterile corespunzătoare determinate în partea feminină[1]. Statisticile respective pot fi explicate dacă se consideră mecanismul reproducerii sexuate ca un sistem de reglaj automat al speciei, cu reacție inversă negativă și pozitivă, care intervine atît în stabilizarea și conservarea speciei ca atare în condiții favorabile de mediu, cît și în îndrumarea evoluției speciei în direcția necesitată de modificarea mediului pentru conservarea speciei prin modificare[2].

Primul element pe care trebuie să-l luăm în seamă este faptul că, la o specie dată, o femelă poate transmite caracteristicile sale numai propriei progenituri, în timp ce un mascul ar putea, în principiu, transmite caracteristicile sale întregii generații următoare a populației, în condițiile în care el ar fecunda de unul singur toate femelele populației respective[3]. Mai departe, dacă notăm cu N numărul total al indivizilor populației, cu N_F numărul femelelor și cu N_M

[1] Această tendință se observă și în crescătoriile de animale: cu cît condițiile de îngrijire asigurate animalelor sînt mai bune, cu atît procentul femelelor în progenitură este mai mare (chiar în condițiile fecundării artificiale cu spermă de la un singur reproducător).

[2] Cele de mai sus nu implică cu nimic modificări *dirijate* în structura genelor ereditare ale indivizilor.

[3] În termeni cibernetici, secțiunea canalului de legătură spre progenitură este mult mai mare la masculi decît la femele.

numărul masculilor, se vede ușor că din proprietatea de mai sus rezultă imediat dependențe de raportul N_M/N_F radical diferite în ceea ce privește *cantitatea* viitoarei generații și *calitatea* acesteia (pe care o vom aprecia prin numărul de

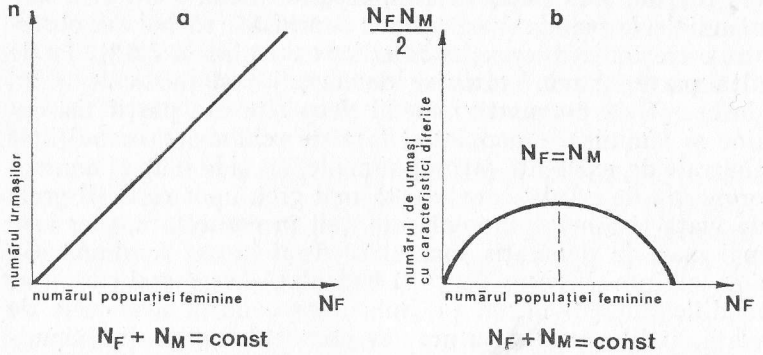


Fig. 31 — Dependența „numărului" urmașilor (a) și a „calității" acestora (b) de proporția de masculi și femele dintr-o populație dată.

diversități posibile în progenitură, într-o diversitate mai mare existînd șanse mai multe să se întîlnească indivizi care să facă față unor condiții noi mai grele). Dacă în populația respectivă există un mascul $N_M = 1$ și restul femele $N_F = N - 1$, numărul urmașilor este maxim: dependența *cantității urmașilor* de proporția de femele este direct proporțională (fig. 31). Numărul combinațiilor diverse posibile depinde însă cu totul altfel de raportul N_M/N_F. Într-adevăr, numărul combinațiilor diverse posibile depinde de numărul posibil de încrucișări și este $\frac{N_M \cdot N_F}{2}$, valoare care devine maximă (fig. 31) pentru un număr total dat al populației în cazul $N_M = N_F$. Prima concluzie: apropierea de jumătate/jumătate a populației masculine și feminine este legată de faptul că în acest mod se asigură maxima diversitate calitativă a speciei — cu prețul reducerii cantitative a generațiilor (numărul maxim al progeniturii este acum $N_F = N/2$ și nu $N - 1$!). Cum am explica acum variațiile observate? Fie apariția unor condiții mai grele de viață; masculii mai neadaptați pier în proporție mai mare, se nasc în proporție mai mare masculi mai mulți — lupta pentru viață și selecția printre masculi este mai severă, învinș cei care întîmplător sînt mai adaptați noilor condiții și aceștia transmit caracterele lor generațiilor

viitoare, în primul rînd femelelor, care constituie fondul în care se acumulează trăsăturile favorabile speciei. Partea feminină a speciei prezintă „blocul" de acumulare, de conservare, închiderea reacției inverse pentru păstrarea speciei ca atare; partea masculină a speciei prezintă „blocul" de modificare, de recepționare a noului, de preluare selectivă a acestuia și, filtrînd ceea ce este util speciei, de transmitere a „datelor" respective în fondul de acumulare, „blocul" de acumulare format din populație feminină[1]. Iată de ce în anii climatici grei, fie sever secetoși, fie sever ploioși, proporția de băieți care se nasc crește etc. Populația ca un tot și implicit specia, prin mecanismul reproducerii sexuate, se prezintă ca un sistem cu reacție inversă, care realizează „finalizat" menținerea sau evoluția speciei. Exemplul de mai sus a fost dat pentru a arăta că și la un alt nivel de integrare mecanismele de reacție inversă oferă un început de explicație pentru unele mecanisme de reglaj pe populație și specie, atît pe linia conservării, cît și pe cea a adaptării prin modificare a acestora[2]. În afară

[1] Conform mecanismului de mai sus curba care reprezintă distribuția diverșilor parametrii în jurul valorilor medii trebuie să fie mai „deschisă" la bărbați decît la femei („gaussiana" respectivă trebuie să prezinte o dispersie mai mare). La bărbați se observă un procent dublu de daltoniști, stîngaci etc. decît la femei. Desigur, toate cele de mai sus sînt începuturi de explicare și nu explicații încheiate.

[2] Cercetări de dată recentă au pus în evidență și unul dintre agenții purtători de semnal care „închide circuitul informațional" în cadrul populației, și anume molecule chimice de o mare specificitate și în stare „să comande" în doze infim de mici. O experiență concludentă a fost următoarea: se știe că șobolanii se dezvoltă ca o populație cu exemplare mari și puternice în condiții de hrană și de spațiu abundente și ca o populație cu indivizi de dimensiuni mult mai mici în condiții de penurie de hrană și de spațiu. Experiența a constat în crearea a două incinte complet separate, una cu condiții de abundență și alta cu condiții de penurie și în creșterea populațiilor respective pornind de la aceiași strămoși. După cîteva generații, diferențierea era evidentă. În continuare s-a stabilit o circulație de aer din incinta cu condiții de penurie în cea cu condiții de abundență. Rezultatul a fost că, după alte cîteva generații, și populația din incinta cu condiții de abundență a trecut la dimensiuni reduse, deci primise un „mesaj-comandă", evident chimic, din cealaltă incintă și-l urmase. Molecula sau moleculele respective n-au fost identificate pînă în prezent. Cînd molecula de mesaj a fost identificată, s-a dovedit faptul uluitor că în unele cazuri o singură moleculă din substanța specifică este suficientă pentru a provoca un impuls în celula receptorului (vezi de exemplu, D. Schneider, *The Sex—Attractant Receptor of Moths*, în „Scientific American", iulie 1974, p. 28). Cu privire la alte mecanisme de reglaj sexual pe populații din diferite specii vezi I. Peatnîchi, *Determinismul în genetică și fideismul contemporan*, Edit. politică, București, 1975, p. 96—101. În genere, animalele nu se comportă ca un conglomerat neorganizat de indivizi, ci ca un sistem viu extrem de perfecționat, posedînd capacitatea de autoreglare și de autorefacere.

de aceasta, mecanismul amintit are o anumită legătură şi cu tema noastră, legătură care, dintr-un anumit punct de vedere, atinge chiar o latură principială a problemei. Şi anume: nu reprezintă nici un secret atitudinile medii psihologice diferite ale bărbaţilor şi femeilor în privinţa legăturilor sexuale, şi nu numai în această privinţă (deosebiri care sînt ca un fel de reflex îndepărtat al poziţiei fundamentale deosebite pe care o au bărbaţii, respectiv femeile, în cadrul acestui mecanism fundamental de reglaj al speciei). Şi cum deosebiri directe de structură între creierii celor două jumătăţi, feminine şi masculine, ale omenirii pînă astăzi nu par a se fi putut stabili, rezultă ca o concluzie cu multe şanse de a fi adevărată că anumite comportări psihologice ale indivizilor, comportări care depind de structura şi de funcţionarea individuală a creierilor respectivi, sînt într-un mod oarecare reglate biologic de modul în care individul este integrat în formaţia de structură superioară, în cazul de faţă populaţia ca parte a speciei. Acesta constituie un moment care merită să fie reţinut în comparaţia pe care o facem[1].

Un alt element din evoluţia generală a viului pe care vrem să-l discutăm pe scurt şi care ne va conduce la problema pe care o considerăm centrală în discuţia noastră este urmărirea „arborelui vieţii" (fig. 32) din punctul de vedere al sistemelor nervoase şi al comportamentelor. Arborele vieţii prezintă ramificaţii din ce în ce mai multe şi mai diverse începînd cu vreo 500 milioane de ani în urmă (cam o optime din durata de existenţă a Pămîntului), cînd, pare-se, condiţiile de existenţă pentru formele de viaţă existente pe atunci au devenit dure. Urmărirea acestui arbore conduce, pe de o parte, la ideea că, elaborînd o anumită formă de viaţă, natura pare a diversifica forma respectivă în toate variantele posibile şi, numai „epuizînd" variantele respective din punctul de vedere al capacităţii de adaptare la condiţii schimbate ale mediului, trece la forme noi, altfel organizate. E ca şi cum o formă odată creată este mereu reluată cu diferite diversificări, ca rezultat al unui proces de reacţie inversă negativă ce aduce „sistemul" undeva înapoi într-o zonă vecină cu punctul de plecare, întreaga zonă relativ stabilă

[1] Cititorul cunoaşte, desigur, că ponderea reglajelor biologice asupra comportamentului scade odată cu dezvoltarea societăţii şi perfecţionării acesteia. Am subliniat latura principială: activitatea creierului este subsumată, pe unele laturi cel puţin, şi formaţiilor integratoare superioare biologice, populaţia şi specia.

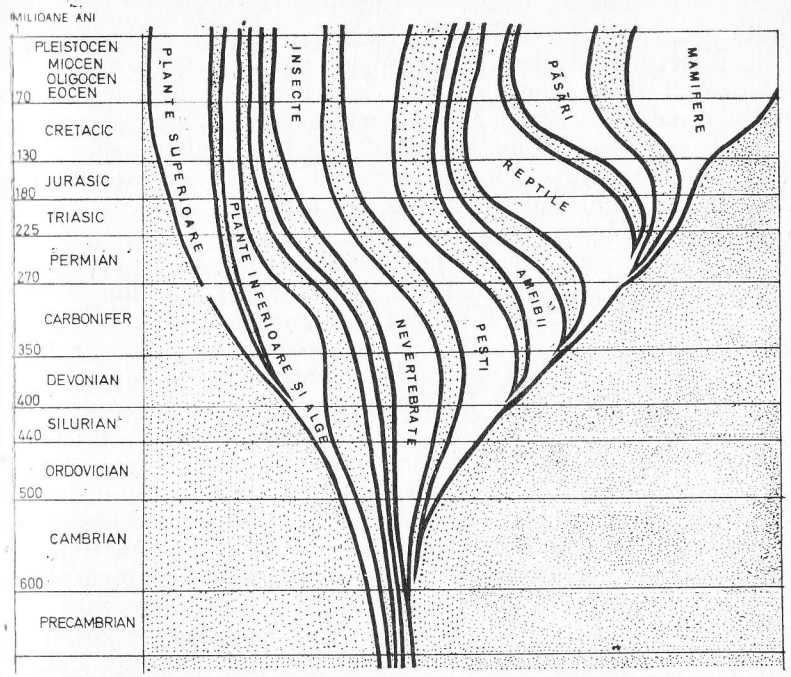


Fig. 32 — „Arborele vieţii", în care se pun în evidenţă cele două „soluţii extreme" în reglarea comportamentului pentru asigurarea speciei la insecte şi la mamifere (după J.Z. Young).

care rezultă în felul acesta formînd ansamblul nivelului dat al speciilor. La modificări severe, dar suficient de lente ale condiţiilor din mediu, natura „trece" prin dezvoltarea cu precădere a unor trăsături iniţial „minore" la un nou nivel, de astă dată printr-un sistem de reacţie inversă pozitivă, care determină evoluţia de la o specie la alta [1]. Pe de

[1] « Aşadar, la nivelul *teoriei biologice* contemporane există o reprezentare sintetică asupra magistralei evolutive a regnului animal. În procesul constituirii ei se pot distinge două laturi: prima, *iradierea* nivelului în numeroase ramificaţii, prin care se realizează toate potenţele organizării iniţiale, în unitate cu noul nivel de mediu, „decupat" din conexiunea naturală universală; a doua, *detaşarea* unei *singure direcţii*, „optime", prin care se deschide concomitent un tip calitativ nou (faţă de nivelul de pînă atunci) de contradicţie organism-mediu » (vezi N.S. Dumitru, *op. cit.*, p. 30). Modul de constituire al zonei iradiate precum şi cel de desfăşurare şi de detaşare a unei singure direcţii optime aduc, cel puţin fenomenologic cu desfăşurarea unor procese cu reacţie inversă negativă şi pozitivă. Reamintim cititorului rezervele cu care prezentăm aceste aspecte (vezi p.144).

altă parte, dacă considerăm figura respectivă și analizăm din punctul de vedere al sistemelor nervoase și al modului de trai al populațiilor cele două laturi extreme ale ramurilor care constituie regnul animal, găsim într-o extremă unele insecte care trăiesc în „societăți", iar în cealaltă unele mamifere care trăiesc tot în „societăți" și, pe această linie, deasupra, omul cu societatea sa, societatea propriu-zisă. Aceste extreme se deosebesc prin aceea că la respectivele specii de insecte *întreaga programare este făcută pe colectiv:* individul ca atare nu contează, posibilitățile individuale de „descurcare", de adaptare sînt minime, în schimb organizarea programată este uluitor de *consistentă* și de *coordonată* pentru a asigura existența coloniei. La celălalt capăt, la om, apare *înzestrarea fiecărui individ cu un organ puternic dezvoltat, creierul, pentru o „descurcare" individuală.* E ca și cum natura, în „efortul" ei de a dezvolta viața [1], a încercat ambele soluții „logic" posibile: subsumarea individului programat riguros unui program de ansamblu de asigurare a grupului (a populației) și dezvoltarea posibilităților personale de rezolvare ale individului, dezvoltarea indivizilor ca elemente asigurînd dezvoltarea populației ca ansamblu. Rezultatul dezvoltării pe această linie este sistemul nervos, în particular creierul, ca organ de dirijare și de adaptare individuală. Mai departe, odată cu apariția speciei *Homo sapiens* și simultan cu dezvoltarea creierului, ia naștere o nouă formație activă superioară (în sensul de formație integratoare care își subsumează elementele dezvoltînd procese specifice), și anume *societatea omenească,* care, ca orice formație activă aflată în echilibru dinamic cvasistaționar cu mediul, prezintă mecanisme de reacție inversă negativă, care tind s-o conserve ca atare și mecanisme de reacție inversă pozitivă care o împing spre evoluție (în paranteză fie spus, trăsăturile de bază ale ceea ce se numește azi mecanismul cibernetic fundamental al societății au fost puse în lumină și elaborate în cadrul materialismului istoric și al economiei politice marxiste — fenomenele de piață, crizele, concordanța forțelor și relațiilor de producție, revoluția ca rezolvare prin autoreglaj a problemelor sociale — cu mult înainte ca concepțiile generalizatoare ale ciberneticii să fi pus în lumină unitatea structurală a proceselor de comandă și de control în diferi-

[1] Sperăm că limbajul finalist, antropomorfic nu induce pe nimeni în eroare: nimic n-a avut loc intenționat!

tele sisteme active dinamice). Pentru a completa aici puțin tabloul, vom spune că însăși evoluția societății ca formație activă de la comuna primitivă spre comunism poate fi văzută ca evoluția unei formații active dinspre conservarea formației ca totalitate (în care individul, deși înzestrat cu capacități de „descurcare" potențial imense, avea inițial o pondere și o semnificație cu totul reduse) spre conservarea formației *prin* și *pentru* asigurarea optimului de dezvoltare a fiecărui individ în parte.

Să revenim însă la problema creierului, și anume de astă dată nu sub unghiul pe care l-am discutat în paginile anterioare al structurii și al funcționării sale, ci din cel al modului cum apare conștiința la formația activă nou-născută, la copil. După cum vom vedea, concluziile care se desprind din acest aspect al problemei au o pondere deosebită pentru problema pe care o tratăm.

Să încercăm să prezentăm pe scurt concluzile principale despre care în prezent se poate spune că sînt stabilite [1] cu suficientă certitudine.

Urmărind mai întîi modul de apariție al comportării la animalele inferioare, modul în care apar primele indicii ale funcționării creierului acestora, se constată că încă *înainte* de dezvoltarea mușchilor neuronii motori cresc spre a se cupla cu aceștia din urmă, adică cresc prin diferențierea progresivă a unui țesut inițial absolut uniform și nu prin implantarea în mușchi a unor structuri formate în prealabil. În ansamblu, sistemul asociativ al creierului se dezvoltă de la centru înspre sistemul motor, iar fibrele sensibile periferice cresc invers, de la periferie spre zonele receptoare centrale ale creierului [2]. Parte din căile *eferente* motoare se dezvoltă încă *înainte* ca vreo fibră *aferentă* să fi ajuns la creier. De aici concluzia fundamentală că *individul acționează asupra*

[1] Jose M.R. Delgado, *Physical control of the mind,* Harper and Row, 1969, p. 41—71 (după ediția rusă).

[2] Este încă un secret al naturii, despre care în prezent se pot emite doar unele ipoteze, pe ce anume cale se asigură ca numărul imens de axoni ai neuronilor periferici să se lege în mod ordonat în lanțuri care să ajungă sistematic spre anumite zone ale creierului, avînd simultan o structură locală, pare-se oarecum statistică și totuși pe ansamblu riguros genetic determinată. Experiențele făcute pe animalele inferioare al căror sistem nervos se reface, experiențe în cadrul cărora fibrele nervoase au fost tăiate și amestecate, arată că refacerea are loc totuși ordonat, de *parcă în structura fibrelor ar fi ceva care face ca ele să se recunoască!* Modele care ar putea explica o astfel de situație s-au imaginat, cum are loc însă faptul în realitate, nu s-a stabilit pînă în prezent.

mediului înconjurător încă înainte de a începe să reacționeze la acțiunea acestuia. Acestea sînt date anatomice. Date de comportament confirmă acest lucru. Mormolocii unor pești *(Tautogolabus)* încep să înoate liber în apă, dar în prima zi nu reacționează la nici un excitant extern. Sistemul nervos eferent de comandă acționează din plin, în timp ce sistemul senzorial aferent se dezvoltă doar treptat, în însuși procesul de interacțiune cu mediul, pînă cînd ajunge să-și subordoneze sistemul motor primar. De aici și din alte multe asemenea fapte se vede că modul de comportare al individului rezultă din îmbinarea a *două* componente: din capacitatea înnăscută de mișcare, determinată de structura și de adaptările interne fiziologice ale organismului, pe de o parte, și din acțiunea dirijată de modificare sub influența factorilor externi a activității interne, modificare care are loc în așa fel încît în cele din urmă se creează condițiile necesare pentru ca activitatea internă să răspundă adecvat excitanților externi, pe de altă parte. *De aici rezultă că comportarea în ansamblu, integrarea, nu poate fi considerată ca o simplă sumă de reflexe*; dimpotrivă, *ea constituie o componentă esențială a manifestării pe care o prezintă un reflex particular; drept urmare, descrierea comportării nu poate fi epuizată în termeni de perechi stimul-reacție.*

Trecînd la dezvoltarea embrionară a puiului de om, se constată aceleași trăsături fundamentale; de exemplu, legăturile nervoase vestibulare se dezvoltă înaintea organului vestibular. În general, dezvoltarea creierului merge în direcția stabilirii legăturilor individului cu mediul înainte ca acesta să fie în stare să primească informația senzorială. „Inițiativa este de partea organismului" [1]. Dar, dacă dezvoltarea organelor motoare prezintă încă în uter un fel de repetiție generală fiziologică a funcțiilor înainte chiar ca acestea să fie necesare [2], condițiile de existență ale fătului fac ca „pînă

[1] J.M.R. Delgado, *op. cit.*, p. 49—50.

[2] Inima începe să bată la embrionul de trei săptămîni, cînd încă nu există sînge; stomacul și intestinele fac mișcări și generează sucuri, deși nu există hrană; în întuneric absolut se mișcă pleoapele; se mișcă mîinile și picioarele; cu cîteva săptămîni înainte de naștere încep mișcările respiratorii, deși nu există aer; cu alte cuvinte organele sînt dezvoltate anatomic și „antrenate" fiziologic. Elementele sistemului nervos sînt dezvoltate doar anatomic; la embrionii extrași din motive medicale se constată că și nervii senzori sînt gata de funcționare; la fătul de 14 săptămîni extras există o mulțime de reflexe care se constată și la noul-născut (nu toate), dar în uter ele nu funcționează!

înainte de naștere acesta să fie lipsit de orice senzații vizuale, auditive, olfactive și gustative, iar cele tactile, proprioceptive și viscerale să fie foarte reduse. Nou-născutul posedă o mulțime, o zestre bogată de reflexe, dar intercorelația lor este nulă. *Mecanismul integrării centrale lipsește la nou-născut, această integrație în sistem apărînd, de regulă, în prima lună după naștere"* [1]. Din aceste fapte și din altele rezultă că *nou-născutul uman este total lipsit de conștiință. Numai acumularea experienței de viață conduce la apariția conștiinței* [2]. Fundamental însă din punctul de vedere al problemei pe care o discutăm ni se pare mai ales următorul fapt: conștiința nu apare ca un rezultat al punerii în funcțiune a unui *creier gata format.* Dimpotrivă, faptele arată că creierul se formează abia în cursul funcționării sale. Citățm: „În trecut exista părerea unanimă că mamiferele se nasc cu întreg ansamblul de neuroni necesari și că dezvoltarea ulterioară se limitează doar la creșterea în complexitate a legăturilor sinaptice ale rețelelor nervoase deja existente. Cercetările recente, efectuate cu ajutorul izotopilor radioactivi, au arătat însă că, cel puțin în zona hipotalamică, a umflăturii olfactive și a scoarței cerebelului la mamifere, *80—90% din neuroni se formează abia după nașterea animalului.* Experiența care se dobîndește datorită fluxului informației senzoriale din mediul înconjurător influențează atît asupra *numărului,* cît și asupra *structurii legăturilor* acestor neuroni *nou-formați.* Mai mult, microneuronii cerebelului, care servesc drept *elemente asociative,* se dezvoltă după naștere sub influența reacțiilor de comportare ale copilului ... *Cu alte cuvinte, se poate spune că creierul în dezvoltare parcă ar absorbi mediul extern și-l*

[1] J.M.R. Delgado, *op. cit.*, p. 49—50.

[2] „Creierul unui copil nou-născut nu este în nici un caz o *tabula rasa* electrică sau o foaie albă, dar ritmurile (pe encefalograme. (— E.K.) sînt complet diferite de cele ale unui adult. Ele sînt mai degrabă mari ondulații neregulate decît forme de undă sistematice și cuprind toate zonele; nu există o diferențiere clară nici măcar între față-spate sau stînga-dreapta. Ele abia dacă au în general vreo raportare la funcționare, dar aceste unde lente, neregulate devin mai largi și mai ritmice cînd copilul doarme. La vîrsta de circa trei luni, creierul copilului dobîndește, de regulă, un set mai definit de caracteristici *(patterns)* electrice, dar acestea continuă să fie mult mai lente și mai puțin regulate decît la adult. Pînă pe la vîrsta de doi sau trei aní nu poate fi decelat nici un semn de activitate alfa, iar tabloul final se stabilește foarte rar înainte de vîrsta de zece ani! (W. Grey Walter, *op. cit.*, p. 123). După I. Asimov, *op. cit.*, p. 180, acest tablou se stabilește abia la 17 ani!

folosește drept element structural pentru construcția neuronilor" [1].

S-ar putea pune, desigur, problema că fătul uman este la naștere doar nedezvoltat și că elementele de conștiință, deși predeterminate genetic, mai cer doar timp pentru împlinirea dezvoltării lor, cu alte cuvinte conștiința ar fi totuși înnăscută determinată genetic. Ansamblul tuturor experiențelor asupra dezvoltării creierului la copil arată însă că *factorul extracerebral,* experiența de viață, joacă un rol *fundamental* în apariția conștiinței și constituie elementul *de bază* care condiționează dezvoltarea acesteia. *Fără experiență acumulată nu există nici un fel de activitate psihică*; un copil crescut în lipsa excitanților senzoriali ar fi totalmente lipsit de funcții psihice. Genetic este dată *doar capacitatea potențială* de dezvoltare a activității psihice; rolul hotărîtor în dezvoltarea concretă îl are experiența [2].

Trecînd la adulți, și anume la modul de funcționare al creierului și al conștiinței acestora, se demonstrează și aici *că creierul pur și simplu nu poate lucra în lipsa fluxului informațional extern!* Creierul uman matur, cu toată bogăția trecutului și a obiceiurilor dobîndite, nu este în stare să gîndească, nici măcar să rămînă în stare de veghe sau să reacționeze dacă este lipsit de interacțiunea permanentă cu mediul, de interacțiunea informațională cu exteriorul, de afluxul de informație senzorială. Dintre diferitele experiențe care au demonstrat acest fapt redăm următoarea: într-o incintă închisă complet, întunecată, umplută cu apă și menținută la o temperatură constantă a fost introdus un grup de persoane îmbrăcate în costume speciale izolatoare și alimentate cu oxigen astfel ca să plutească liber. Persoanele respective au afirmat că la început experiența a fost „delicioasă"; pe urmă au adormit. La trezire însă, persoanele au constatat că sînt complet dezorientate, neavînd nici o posibilitate de a determina dacă plutesc în sus sau în jos etc. În condițiile respective, ele erau lipsite, bineînțeles, de orice stimuli externi: vizuali, auditivi, tactili, de temperatură etc. Aspectul cel mai interesant al experienței a fost însă următorul: după un

[1] J.M.R. Delgado, *op. cit.*, p. 54—55 (subl. ns.).

[2] După naștere la diferitele specii de animale superioare și la om există anumite perioade critice în care se pot dezvolta diferite comportamente psihice. Absența excitanților corespunzători in perioada respectivă implică nerealizarea acestei capacități potențiale.

răstimp de la trezire nici una dintre persoane nu mai era în stare să depășească un anumit gînd la care ajunsese, și asta pe durate de experiență de 12 ore! Fără excitanți externi, creierul s-a dovedit în imposibilitate de a-și schimba ideea, de a comuta pe altă problemă, de a face apel la memorie! Iar dacă printr-o legătură telefonică se trimitea o „impulsionare", o nouă idee, aceasta era imediat acaparată de subiect, care apoi continua „s-o învîrtească" în creier ore în șir pe tot timpul stării de izolare. După încetarea experienței, persoanele respective au avut nevoie de circa 24 de ore pentru a reveni la normal, în sensul de a recepționa informația livrată și de a face ceea ce se numește o evaluare rațională a acesteia [1]. Alte experiențe, făcute în alte condiții de izolare de excitanții externi, au arătat că izolarea de lumea externă dă naștere la halucinații și la stări de anxietate, care persistă un timp și după revenirea la „relații normale". Evident, în tot cursul acestor experiențe, creierul continuă să primească informația referitoare la starea internă a organismului, așa cum continuă și dirijarea acesteia. Experiențele amintite dovedesc după noi, încă o dată, că dirijarea proceselor interne, coordonarea lor, nu se face în sine și pentru sine, ci pentru a face față schimbărilor din mediu. Primară pentru formația activă și implicit pentru creier este interacțiunea cu mediul; lipsit de aceasta, creierul prezintă o funcționare anormală, care, prelungită, devine patologică. Prin urmare, în considerarea raporturilor creier uman—creier artificial tratarea trebuie să pornească de la considerarea modului de interacțiune cu mediul și nu de la intrastructuri luate în sine. Viciul pozițiilor care pornesc de la considerarea „izolată" a structurilor respective, luate în sine este un viciu de fond.

Din toate cele arătate pînă acum rezultă că activitatea specifică a creierului este de prelucrare internă, în structura lui, a informației externe, creierul fiind prin esență un organ activ organizator al relațiilor individ-mediu, *el fiind totodată un produs și un producător al acestor relații.*

Determinat genetic, pe de o parte, și influențat, pe de altă parte, de mecanismele, de interacțiunile care lucrează pe populație și pe specie într-un mod pe care nu-l cunoaștem, creierul este totuși în primul rînd un organ de interacțiune

[1] M.C. Yovits și S. Cameron (editori), *Self-organizing systems*, Proceedings of on interdisciplinary Conference, Pergamon Press, Oxford, 1960, p. 148—149.

individuală cu mediul, un organ individualizat în structura și în funcționarea sa de experiența individuală, particulară a organismului din care face parte. Individualizarea și dependența de experiența individuală se arată a fi cu atît mai puternice, cu cît specia este mai dezvoltată din punctul de vedere al capacității sistemului nervos. Vîrful acestei dezvoltări îl constituie pînă în prezent omul, la care această trăsătură suferă un salt calitativ: dintr-o activitate coordonatoare, organizatoare a relațiilor organism-mediu prin dirijarea comportării organismului în mediu, activitatea creierului devine o activitate organizatoare a mediului, o activitate de dirijare a modificării mediului în vederea adaptării acestuia la organism. Este ca și cum activitatea de dirijare a creierului la om duce la „extinderea în afară" a organismului acestuia, proces în cadrul căruia apare artefactul, produsul artificial.

Produsul artificial este și el un produs al naturii, dar nu este unul direct, ci mediat prin *activitatea finalizată, prefigurată în creier și prin efectuarea acestei activități cu organul specific de lucru, mîna*. Și în acest caz organul motor și organul de dirijare s-au dezvoltat într-o reciprocă condiționare, dar și aici activitatea a precedat reflectarea acesteia (munca l-a creat pe om, mîna umană a creat creierul uman) [1]. Sistemul receptor-prelucrător odată creat, ia în stăpînire, își subordonează activitatea întregului, devine elementul dominant al dirijării comportamentului. În același timp și îmbinat cu această dezvoltare apare și o nouă formație, societatea, asigurînd speciei care a ajuns s-o realizeze un mod radical deosebit de acumulare a experienței pe specie. De unde pînă la apariția societății experiența individuală acumulată era în minimă, în infimă măsură transmisă generației următoare, mecanismul fundamental de evoluție fiind selecția ereditară a indivizilor întîmplător mai adaptați variațiilor mediului (deci, ca atare, un mecanism cu capacitați plastice imense, dar lent, extrem de lent), odată cu apariția societății, cu dezvoltarea interacțiunii informaționale între mem-

[1] „Evoluția biologică evidențiază următoarele legități: în legătura dintre interacțiunea organism-mediu (*o-m*), pe de o parte, și sistemul nervos ca organ al reflectării și formelor reflectării, pe de altă parte, există următoarea corelație: mai *întîi* se schimbă interacțiunea *o-m*, *apoi* organul și în cele din urmă formele reflectării. Întotdeauna, în punctele de salt primează transformarea structurii activității organismului..." (N.S. Dumitru, *op. cit.*, p. 100—101).

brii colectivității și a mijloacelor de acumulare și transmitere a experienței individuale pe care le constituie limba — al doilea sistem de semnalizare —, experiența individuală acumulată începe să devină bun comun, transmisibilă și acumulabilă în specie. Rezultă astfel o accelerare uriașă a evoluției experienței acumulate, un ritm îndrăcit al acumulării experienței sociale și a elaborării artificialului ca urmare a acestei acumulări. În prezent, exploziva elaborare a „creierilor artificiali" este legată de multe aspecte, dar în principal de formalizarea proceselor de gîndire și de înțelegerea și stăpînirea mecanismelor de reacție inversă. Ca urmare, apariția a ceea ce am numi „finalitate artificială", care — indiferent de deosebirile pe care le vom discuta — continuă linia fundamentală a dezvoltării vieții, a finalității, adică menținerea unor structuri specific organizate „ca atare" în regim dinamic cvasistaționar, în prezența acțiunilor dezorganizatoare ale mediului, supuse fundamentalei legi fizice a creșterii entropiei.

Dar înainte de a trece la discutarea problemelor natural-artificial, formele artificiale, artefactele care ne interesează și raporturile lor cu produsele naturale, am vrea să atragem încă odată atenția asupra unui fapt dominant: ne referim la Pămînt. Toate procesele decurg spontan precum spuneam, în sensul creșterii entropiei, adică de la organizare la dezorganizare; formația activă, formația vie, reprezintă o încălcare locală, temporală a acestui proces entropic general. Formația activă are o comportare „antientropică", se opune coordonat acțiunii dezorganizatoare a mediului. Formațiile active prezintă, la rîndul lor, o evoluție de la forme simple monocelulare la complexe organizate, în care intră 10^{15} — 10^{18} celule! Trasînd o diagramă [1], în care pe abscisă se pune numărul de celule ale individului și pe ordonată numărul total al celulelor tuturor indivizilor care există din specia respectivă, rezultă că, deși numărul oamenilor care există în lume este infim față de numărul total al protozoarelor ($\sim 3 \cdot 10^9$ față de $\sim 10^{15}$), numărul total al celulelor care trăiesc, opunîndu-se legii creșterii entropiei, este la protozoare abia de ordinul a 10^{15}, în timp ce la om este de ordinul a 10^{25}! Cu alte cuvinte, evoluția vieții indică creșterea în complexitate ca un mijloc din ce în ce mai eficient de opunere la creșterea entropiei!

[1] *From molecule to man, the explosion of science*, ed. J.Z. Young și Tom Margerison, Crcwn Publ., New York, 1969, p. 96.

Deoarece această lege nu poate fi încălcată decît local, „soluția" găsită este următoarea: o formație piere dar dă naștere alteia, și din formație în formație are loc o trecere la forme tot mai complexe, care asigură capacități „antientropice" tot mai mari — mai mari și prin număr, dacă luăm drept bază celula vie, și ca arie de acțiune, dacă luăm drept bază complexitatea —, pînă cînd la om acțiunea „antientropică", acțiunea organizatoare, trece și asupra materiei nevii, supusă în mod absolut legii creșterii entropiei. Această acțiune, trecînd asupra organizării materiei nevii, a ajuns astăzi într-un stadiu în care se pune problema posibilității de organizare a materiei nevii, în așa fel încît aceasta să devină „autoorganizată în sine și pentru sine", adică problema creării materiei vii, a organizării artificiale cu toate atributele sale, inclusiv cel al finalității.

Pentru a putea aborda însă problema, va trebui în prealabil să ne ocupăm și de al treilea termen al comparației, de creierul artificial, sau, mai în general, de automate.

Să rezumăm. Procesul dirijării implică, drept moment esențial, închiderea în buclă a activității formației active, închidere prin care rezultatul *de facto* al acțiunii devine, la rîndul lui, termen al unei noi interacțiuni informaționale. În felul acesta, formația activă posedă moment cu moment reflectarea stării obținute față de cea „urmărită", compararea celor doi termeni fiind elementul de bază în dirijarea comportării. Închiderea în buclă, prin care produsul acțiunii influențează la rîndul lui mecanismul de producere, constituie mecanismul așa-numit de reacție inversă.

Reacția inversă poate fi de două tipuri, principial deosebite: reacție inversă negativă, atunci cînd produsul acțiunii intervine în sensul micșorării acțiunii, și reacție inversă pozitivă, atunci cînd produsul acțiunii intervine în sensul amplificării acțiunii.

Prin faptul că tinde să anuleze acțiunea excitantului care a determinat acțiunea, reacția inversă negativă tinde să conserve starea sistemului, să readucă sistemul în starea inițială. În fapt, în orice sistem real, reacția inversă negativă aduce sistemul într-o zonă în jurul stării inițiale, zonă care constituie domeniul de relativă stabilitate a sistemului.

Prin faptul că tinde să amplifice acțiunea excitantului care a determinat acțiunea, reacția inversă pozitivă tinde să determine o evoluție a sistemului, să-l îndepărteze pe acesta din urmă de starea inițială. Cînd sînt îndeplinite condițiile

de amorsare, reacția inversă pozitivă determină evoluția sistemului spre stări din ce în ce mai îndepărtate de cea inițială, stări în care intervin modificări în proprietățile și în structura sistemului, ceea ce face ca acesta din urmă să înceteze a se conserva ca atare.

Reacția inversă este întîlnită în întreaga realitate. Specificul unor reacții inverse din lumea viului este închiderea buclei printr-o interacțiune informațională, produsul acțiunii nu mai intervine asupra intrării sistemului nemijlocit, ci mediat prin interacțiunea informațională.

Procesele cu reacție inversă, în general, și reacția inversă prin interacțiunea informațională, în particular, au înlesnit formarea unei baze pentru înțelegerea științifică a apariției comportării cu finalitate.

Finalitatea nu constă însă într-o simplă însumare și suprapunere de procese de reacție inversă, ci în integrarea acestora într-un tot în cadrul fiecărei formații active. Natura acestei integrări nu este încă bine înțeleasă, dar ea rezultă din plin ca aspect major (dominant) din întreaga analiză pe diferite planuri și în diferite secțiuni ale lumii viului.

Evoluția viului prezintă mecanisme de reacție inversă din ce în ce mai complexe și mai mediate, în cadrul buclei de reacție inversă dezvoltîndu-se un centru de prelucrare a informației, de coordonare și dirijare a comportamentului extern și intern — sistemul nervos.

Sistemul nervos în ansamblu (și creierul ca centru al acestuia) constituie organul care, coordonînd activitatea formației active, asigură starea cvasistaționară a acesteia în condițiile în care mediul suferă modificări puternice și stocastice.

Funcția esențială a creierului este asigurarea unui comportament care să ducă la conservarea formației active.

În funcțiile creierului și corespunzător în comportamentele formației active se disting două grupe fundamentale: funcțiile și comportamentele stereotipe, cu soluții date adaptate la împrejurări date (și care prezintă o capacitate de modificare foarte mică, dar nu nulă cu modificarea împrejurărilor), și funcțiile și comportamentele pe care le-am numi de rezolvare individualizată (contrar stereotipului) — caracterizate în primă instanță prin plasticitate, prin capacitatea de a răspunde în mod nou la o situație nouă. Atît unele, cît și celelalte sînt funcții intrinsece, necesare asigurării conservării formației active ca atare.

În cadrul formelor viului, coloniile de insecte reprezintă „soluția" cu maximă pondere a comportamentului stereotip al individului, care asigură conservarea speciei prin comportamentul coordonator al coloniei, iar societatea omenească reprezintă „soluția" cu maximă pondere a comportamentului cu rezolvare individualizată pe un fond de tipologie comportamentală, conservarea speciei făcîndu-se prin acțiunea coordonată a indivizilor în societate, care, în evoluția ei, va ajunge în comunism la dezvoltarea ansamblului prin și pentru dezvoltarea optimă a fiecărui individ.

„Soluția" înzestrării fiecărui individ cu un organ puternic dezvoltat pentru rezolvarea conservării a dus la apariția creierului uman, cu structura sa complexă și încă atît de departe de a fi cunoscută.

Prezentînd comportamente stereotipe și, mai mult, manifestînd o capacitate uluitoare de a transforma o reacție nouă la o situație nouă într-o reacție stereotipă dacă situația se repetă frecvent, creierul uman se caracterizează însă în principal prin capacitatea sa de a face față la situații noi.

Toate datele cunoscute înclină să indice că ereditar creierul apare cu potențialități puternice „înscrise" în structura sa, dar că el se dezvoltă în cursul activității individului, „absorbind" mediul extern și folosindu-l ca element al dezvoltării propriei structuri funcționale (într-o măsură și constitutive). Creierul se constituie în interacțiune și din interacțiunea cu mediul extern, în a cărui matcă trebuie să asigure conservarea formației active, conservare care constituie însăși rațiunea sa de a fi.

Indiferent de formele pe care le ia, indiferent de caracterul relativ independent pe care-l iau diferitele activități intelectuale la om, finalitatea în comportare rezultă din această tendință fundamentală a viului de a fi viu.

Integrat unei formații active date și specific acesteia, creierul ca și formația în întregul ei, este totodată integrat formației mai mari pe care o constituie populația și specia și, ca atare, influențat de ele, chiar dacă nu întotdeuna se cunoaște acest proces.

Homo sapiens, în cadrul unei formații specifice, societatea, a trecut de la adaptarea la mediu la adaptarea acestuia. Ca urmare, apare artefactul, realitate mai întîi prefigurată și pe urmă obiectualizată printr-o activitate ordonatoare.

Pe linia ascendentă a artefactului ca domeniu de cuprindere și complexitate, se situează ca una dintre ultimele realizări „creierul artificial". Încoronare și totuși abia început al unui lung șir de automate, „creierul artificial" pune din plin problema posibilităților și a limitelor sale.

Conturarea acestor limite urmează s-o facem după prezentarea structurii și a problemelor automatelor, a creierilor artificiali în permanentă raportare la creierul uman, acesta din urmă, ca și primul dealtfel, considerat nu *in abstracto* izolat, ci încadrat în complexul realității lui funcționale.

VI. CREIERII ARTIFICIALI

Desfășurarea proceselor din lumea viului pe linia evoluției sale ascendente pune în evidență dezvoltarea unor acțiuni din ce în ce mai complexe de modificare a mediului exterior. Formațiile active, prin acțiunile lor, scad entropia unei zone a mediului imediat înconjurător, organizîndu-l, pentru a-și asigura menținerea entropiei scăzute a propriului organism. Cu alte cuvinte, prin această acțiune, formația activă își „extinde" limitele organismului [1].

Ca urmare a acțiunii modificatoare a mediului exterior, în real apare *artificialul*, real și el, dar care nu apare „în mod natural", ci *mediat ca urmare a acțiunii în real a unei părți a acestuia, constituită ca formație activă*, ca formație simultan integrată și contrapusă restului realului. Pe de o parte, artificialul nu este mai puțin natural ca naturalul, el rezultînd ca urmare a proprietăților realului; pe de altă parte, el este radical deosebit de restul realului, fiind produsul unei acțiuni dirijate și purtînd, ca atare, pecetea individualității formației active care i-a dat naștere. Această caracteristică este general-valabilă pentru toate „produsele" activității dirijate în afară a lumii viului, dar prezintă un salt calitativ la *Homo sapiens*: *ceea ce la alte specii putem găsi doar în forme embrionare devine esențial la om*. Esența activității umane constă din acest unghi în extinderea permanentă a lumii artificiale, în producerea *artefactului*, în producerea în real a ceea ce a fost întîi construit în conștiință. Pe linia acestor produse, a artefactului, într-un anumit sens în vîrful dezvoltării acestora se găsesc automatele și printre ele așa-numiții „creieri artificiali".

[1] Scăderea entropiei într-o zonă este realizată, bineînțeles, pe seama creșterii mai mari a entropiei în alte zone (vezi și cap. II).

În cele ce urmează vom prezenta etapele și problemele principale ridicate — rezolvate, în curs de rezolvare sau abia conturate — de dezvoltarea automatelor, pentru a trece apoi la discutarea nemijlocită a raporturilor creier uman—creier artificial. În prealabil însă va trebui să schițăm cîteva puncte de vedere generale referitoare la natural și artificial, la real și model, deoarece discutarea raporturilor creier uman—creier artificial are loc fie pornind de la realizările obținute, fie de la posibilitățile pe care le conturează teoria, fie și de la unele, și de la altele.

Primul lucru pe care am vrea să-l schițăm este următorul: prin ce se deosebește, în general vorbind, produsul muncii de lucrul „natural"? Prin ce deosebim o piatră „naturală" (sau una rezultată din lovirea *întîmplătoare* cu ciocanul!) de o piatră prelucrată? Prin faptul că în artefact putem distinge, putem realiza planul, *proiectul*[1]. Desigur, există situații care pot pune o persoană sau alta în dubiu asupra faptului dacă un anumit obiect este „natural" sau „artificial". În marea majoritate a cazurilor, judecata este însă imediată: artificialul, artefactul este caracterizat de pecetea individualității care i-a dat naștere, *artefactul constituie o existență obiectivată a unei subiectivități*. Situația este imediat clară atunci cînd ne referim la sisteme „pasive". Ea rămîne la fel de clară și cînd ne referim la mașini, la construcții dinamice, deși acestea din urmă, cînd devin complexe, capătă „individualitate", o comportare specifică, particularizată, care se nuanțează în cadrul fixat de constructor sau iese, pe ici pe colo, necontrolat, din cadrul fixat. În mod curent, această „individualitate" constituie rezultatul integral a numeroase mici „abateri": întruchiparea în real este totdeauna pe undeva *alături* de proiect, rezultat al întruchipării unor interacțiuni dirijate de formația activă și a unor interacțiuni independente de aceasta. Atunci însă cînd mașinile sînt pre-

[1] Karl Marx, *Capitalul*, vol. I, Edit. P.C.R., 1948, p. 186: „Ceea ce deosebește însă din capul locului pe cel mai prost arhitect de albina cea mai perfectă este faptul că el a construit celula în capul său, înainte de a o construi din ceară".

văzute cu organe de interacțiune informațională, cu blocuri de prelucrare și de evaluare a informației și cu bucle de reacție inversă, negativă și pozitivă, individualitatea acestora începe să depășească simpla suprapunere de „mici abateri" de comportare; ea prezintă, chiar la o privire mai superficială, asemănări izbitoare cu comportarea formațiilor active, încît pun problema naturii acestei „individualități".

Artefactul, prin urmare, se caracterizează în primul rînd prin aceea că este rezultatul implementării în real a unui proiect, că se constituie ca un obiect *mediat* al realului, ca o *finalizare a unui proiect.*

În cadrul constituirii mediatului putem distinge două mari linii, pe care le-am denumi *linia empirică* și *linia teoretică.* Istoricește vorbind, mediatul a început să se constituie pe linia empirică, dezvoltîndu-se ulterior și pe linie teoretică; în prezent ele coexistă și se dezvoltă într-o îmbinare puternică, astfel că în diferite domenii și etape domină cînd una, cînd alta, tendința dezvoltării generale a cunoștințelor umane fiind însă creșterea ponderii liniei teoretice și lăsarea pe seama liniei empirice a rolului de desăvîrșire, de perfecționare a artefactului. Într-adevăr, în cadrul a ceea ce am numit linie empirică, modelul [1], proiectul se elaborează prin acumularea de cunoștințe cu tatonări din aproape în aproape și tot astfel se realizează și întruchiparea în real a modelului, a artefactului. În cadrul a ceea ce am numit linia teoretică, proiectul constituie elaborarea unui concret pornind de la un model general teoretic, o întruchipare desăvîrșită și perfecționată ulterior realizării prin experiență acumulată empiric, care completează cunoașterea teoretică anterioară.

[1] Pînă în prezent nu există o interpretare cît de cît general acceptată a termenului de „model" sau de „modelare"; se pot cita pînă la cîteva zeci de moduri de folosire, de la „modelul" unei perechi de pantofi, de exemplu, în producție la „modelul" (redus) al unui avion sau (mărit) al unui cristal, la „modelul" folosit de pictor sau sculptor, la „modelul" logic sau matematic, la teoria științifică etc. Chiar într-un cadru mai restrîns, ca cel al *problemelor teoretice ale modelării,* sensul termenului nu este univoc, după cum cititorul se poate convinge ușor parcurgînd cele 23 de articole strînse în volumul *Materialismul dialectic și științele naturii,* vol. X, *Rolul modelului în cunoașterea științifică,* Edit. politică, București, 1965. O scurtă și foarte interesantă prezentare a istoriei termenului „model" în literatura științifică universală de diferite specialități, precum și în enciclopedii și dicționare, se găsește în A.A. Bratko, P.P. Volkov, A.N. Kocerghin și G.I. Țaregorodțev, *Modelirovannie psihiceskoi deitelnosti,* Izd. „Mir", Moskva, 1969, p. 9—24.

În cadrul elaborării artefactului, în real apar forme și soluții noi, principial deosebite de cele care au apărut nemijlocit, nemediat. Astfel, în natură cunoaștem tot felul de organe și de moduri de deplasare, dar *roata* a apărut ca artefact, și aceasta, probabil, datorită faptului că roata este o piesă *total* detașabilă, care nu poate fi „crescută din", ci numai „montată pe" axul în jurul căruia se învîrtește. Aici întîlnim o primă deosebire principială dintre natural și artefact: *naturalul crește, artefactul este asamblat* (există și artefact „crescut", dar despre acest caz particular mai tîrziu). Cît de hotărîtoare este această deosebire în cazul creierilor rămîne să vedem. Reținem însă că, în principiu, soluțiile obținute ca artefact nu reproduc în mod obligatoriu soluțiile naturale; în artefact se pot obține și se obțin soluții principial deosebite [1].

Ajunși în acest punct, constatăm că sîntem puși în fața a *trei* termeni: a realului ca atare, a unor modele teoretice ale acestuia și a unor modele experimentale, întruchipări concrete ale unor cazuri particulare ale modelelor teoretice. Realul natural este în sine și pentru sine este cum este; modelul teoretic constituie reflectarea esențializată a realului, cunoașterea acestuia; modelul obiectualizat constituie artefactul, care în majoritatea cazurilor este realizat pentru a obține organizarea mediului, extinderea domeniului propriu însușit de formația activă. Discuția asupra raporturilor creier uman—creier artificial va trebui să ia în considerare toate aceste trei momente, modelele teoretice punînd în balanță posibilitățile principiale ale artefactului, iar modelele obiectualizate constrîngerile fizice cărora le este supus artefactul.

Referindu-ne în primă instanță la proprietățile modelelor teoretice și experimentale în general, va trebui în primul rînd să amintim că modelele teoretice prezintă și ele numeroase variante, numeroase tipuri. Pe noi ne va interesa însă, considerînd-o fundamentală pentru discuția noastră, prima mare diviziune în două clase a modelelor teoretice: în *modele teoretice fizice* [2] și în *modele teoretice matematice.* Deosebirea

[1] Menționăm aici dezvoltarea incipientă, cu rezultate încă modeste dar cu posibilități principiale foarte mari, a unei noi ramuri a tehnicii, *bionica,* care își propune construirea de sisteme tehnice luînd drept modele diverse sisteme naturale.

[2] Prin „fizic" înțelegem aici, prin extensiune, orice model teoretic referitor la o parte concretă a realului.

fundamentală dintre acestea este următoarea: modelul fizic al realului reprezintă o abstractizare esențializată a acestuia, care explică pe zona respectivă existența realului ca urmare a desfășurării proceselor potrivit cu modelul dat; trăsătura esențială a modelului o constituie punerea obligatorie în corespondență a elementelor modelului cu elementele din real și a consecințelor de comportare care rezultă din model cu comportarea ca atare a realului. Modelul matematic reprezintă o abstractizare esențializată a comportării unui ansamblu, comportare care rezultă cînd se dau elementele ansamblului și se impun anumite relații inițiale între aceste elemente; modelul matematic pune în discuție consistența, consecvența concluziilor pornind de la premisele admise și este indiferent cu privire la corespondența dintre ansamblul premiselor admise și al concluziilor obținute și o situație oarecare concretă din real.

Toate științele lucrează cu modele teoretice fizice; atunci cînd aceste modele teoretice fizice sînt formalizabile, adică atunci cînd ele capătă simultan caracter de model fizic (de punere în corespondență a premiselor și a consecințelor cu realul) și de model matematic (de deducere consistentă și treaptă cu treaptă a consecințelor din premisele acceptate) se obține modelul caracteristic din așa-numitele științe exacte.

Cîteva cuvinte despre relativa forță a acestor modele socotim că vor fi foarte utile în discuția pe care urmează s-o purtăm.

Avem în față, prin urmare, trei momente, trei realități: realul natural în sine și pentru sine, modelul teoretic al unei secțiuni a acestuia și modelul obiectualizat care întruchipează pe anumite linii modelul teoretic.

Modelul teoretic se caracterizează în primul rînd prin puterea sa de abstractizare, prin capacitatea de a desprinde din întreg complexul fenomenelor reale elementele din a căror îmbinare rezultă, în esență, comportarea secțiunii de real la care se referă. Datorită acestui caracter, modelul teoretic posedă putere de pătrundere la mare adîncime, prin aceasta din urmă înțelegîndu-se capacitatea de a explica, treaptă cu treaptă, comportările de la un nivel prin struc-

tura imediat subiacentă nivelului respectiv [1]. În virtutea acestei puteri de abstractizare, modelul teoretic este supus, într-un anumit sens, unor constrîngeri relativ ușoare, relativ limitate. În virtutea aceleiași puteri de abstractizare, modelul teoretic posedă simultan capacitate de cuprindere puternică (pătrundere logică adîncă) și slabă (cuprindere în complexitate colaterală redusă). Într-adevăr, abstractizarea desprinde din mulțimea legăturilor colaterale un grup relativ redus de relații, ale căror consecințe sînt duse însă cu mare consecvență în adîncime. Din acest punct de vedere, puterea, forța modelului teoretic — și acesta este un moment deosebit de important în discuția pe care o purtăm — este și ea simultan puternică și limitată. Aceasta se referă mai ales la modelul matematic, care, prin însăși natura sa, are tendința de a se desprinde complet de constrîngerile realului! Posedînd un caracter logic închis, modelul matematic prezintă posibilități mari de extindere și dă naștere, am spune, unei așa-numite psihologii matematizante, care se caracterizează tocmai prin supralicitarea momentului de consecvență logică și neglijarea, dacă nu chiar negarea, momentului de punere în corespondență a premiselor și a consecințelor cu realul [2]. Or, pentru valoarea concretă a unui model (prin concret înțelegînd adecvarea modelului pentru explicarea comportării unei secțiuni concrete a realului), momentul de importanță primară îl constituie tocmai cel fizic, *corespondența, adecvarea* sa la real.

În prezent asistăm la o „explozie", la o irupție a modelelor matematice în domenii din ce în ce mai largi. Extrem de pozitivă în sine, această extindere aduce cu sine, consecință a psihologiei umane, și o tendință de exagerare, în sensul

[1] Dacă modelul teoretic redă „explică" comportarea unei secțiuni a realului fără a recurge la nivelul (sau la nivelurile) subiacente, el este denumit model fenomenologic și, din punct de vedere riguros științific nu explică, ci descrie. Foarte deseori modelele fenomenologice constituie o treaptă intermediară de mare putere euristică în procesul elaborării modelelor teoretice și uneori rămîn în continuare utile instrumente de lucru.

[2] Este vorba nu de elaborarea modelului matematic în sine, ci de aplicarea acestuia la real. Norbert Wiener, în *Cibernetica* (Edit. științifică, București, 1966, p. 51), remarcă, de pildă, că „aparatul modern al teoriei eșantioanelor mici, de îndată ce *trece dincolo* de calculul propriilor săi parametri, definiți în mod special, și devine o metodă de inferențe statistice pozitive pentru noi cazuri, nu-mi inspiră nici o încredere. O excepție o constituie numai cazul în care acest aparat este folosit de un statistician care *cunoaște în mod explicit sau măcar intuiește* principalele elemente ale dinamicii *situației studiate*" (subl. ns.).

substituirii cercetării concrete a realului în diferitele lui secțiuni cu manevrarea de modele matematice valabile în sine, dar uneori, din păcate, insuficient supuse probei adecvării la domeniul real, concret. Demonstrativ în această privință este rolul pozitiv, dar și negativ jucat de cibernetică, care a irupt în diverse domenii concrete: medicină, biologie, economie, sociologie, psihiatrie, psihologie etc. Pozitivă întrucît înlesnește adîncirea studiului domeniilor respective atît prin elaborarea de noi idei directoare, cît și prin introducerea în domeniile respective a modelelor matematice, această irupție poate fi dăunătoare progresului în măsura în care substituie problematicii reale a cercetării modelului concret moda operării superficiale cu modele matematice — repetăm, în sine, poate, valabile! — nesupuse probei capitale a adecvării. Nu s-ar putea afirma însă că înșiși matematicienii n-ar fi, cel puțin în parte, conștienți de acest aspect. Dimpotrivă: „În fapt, oricît de obiectiv ar fi un fiziolog sau un psiholog, el este ghidat în alegerea experienței sau a modului de experimentare de o ipoteză oarecare sau de un model sau pur și simplu, de o trăsnaie ... Modelele matematice pot fi și ele tot atît de necorespunzătoare ca și modelele nematematice. Una dintre laturile lor frumoase este că ele permit adesea previziuni logice și numerice și prin asta pot fi supuse la verificări mai precise decît modelele nematematice. Dar simpla folosire de formule nu dă în sine nici un fel de puteri magice unei teorii și trebuie să fim totdeauna în alertă în privința deficiențelor vechilor noastre modele și pregătiți pentru ideile care conduc la noi modele, fie acestea matematice sau nu" [1].

Modelul obiectualizat este supus unor constrîngeri mult mai puternice decît modelul teoretic; el este supus și unor limitări „secundare" dure („secundare" în sensul că sînt determinate de conexiuni colaterale care teoretic, în primă aproximare, pot fi neglijate, dar care la implementare intervin implacabil). În final, modelul obiectualizat este singurul valabil, deoarece este singurul care rezolvă problema în practică. Am ilustra această idee citînd situația a două probleme din fizică, amîndouă de perspectivă esențială pentru dezvoltarea potențialului economic al societății: *superconductibilitatea* și *reacția termonucleară*. În ceea ce privește

[1] Michael A. Arbib, *Brains, Machines, and Mathematics*, McGraw-Hill Book Comp., New York, 1964, p. 105.

prima, pentru toți cei care cunosc fenomenul este evident că obținerea de materiale superconductoare la temperatura camerei (300°K) ar însemna o revoluție tehnică considerabilă, implicînd o ridicare colosală a randamentelor tuturor dispozitivelor electrice și prin aceasta o colosală economie de energie (se cunoaște „spectrul foamei de energie electrică"!). Or, la ora actuală, din modelele teoretice nu rezultă posibilitatea sau imposibilitatea superconductibilității la temperatura camerei; este deci evident că lămurirea teoretică a posibilității sau imposibilității respective ar constitui un puternic ghid în dirijarea cercetărilor, fapt care însă în sine nu ar fi încă suficient, lucru demonstrat de situația din domeniul reacției termonucleare. Într-adevăr, posibilitatea teoretică a dirijării reacției termonucleare s-a conturat de circa 20 de ani, și după o perioadă de euforie, cînd s-a crezut că soluția este ca și găsită, au mai fost necesare eforturi experimentale colosale pentru obținerea unui prim model experimental, pentru realizarea practică a modelului teoretic, iar aceste eforturi se izbesc încă și acum tocmai de necesitatea rezolvării și învingerii a nenumărate „constrîngeri colaterale", tehnologice și tehnice.

Realul este simultan și *complex*, în sens de legături conexe colaterale multiple, și *adînc*, în sens de structurare din nivel în nivel, cu treceri dialectice de la un nivel la altul, în sensul relativei pierderi de semnificație a unor proprietăți și de constituire a unor noi proprietăți prin integrarea structurilor la trecerea de la un nivel la altul. Modelele teoretice se disting, de regulă, fie prin *adîncime rațională* și *relativă simplitate colaterală*, caz în care iau forma unor structuri matematice, logic formalizate, fie prin *complexitate colaterală* și *relativă reducere în adîncime rațională*, caz în care iau forma unor modele neformalizate, nematematice, cu structură puternic dialectică, „scămoase", cum le-au botezat ... matematicienii (nu peiorativ). Artefactul ca model obiectualizat se distinge tocmai prin *desfășurarea rațională pe o linie*, și anume pe aceea pe care s-a reușit elaborarea modelului teoretic și mai puțin pe complex, pe structura colaterală, pe care modelul este foarte greu de elaborat. Lucrurile par a nu fi întîmplător așa.

Într-adevăr, după cum legea creșterii entropiei nu poate fi „învinsă" în *mod absolut*, dar este *sistematic* „învinsă"

relativ din formație activă în formație activă și de la o formație activă mai simplă la o formație activă mai complexă, de la conservarea ca atare la conservarea prin modificare și mai departe la modificarea pentru conservare, tot astfel, pare-se, în sfera reflectării, limitarea — impusă de *caracterul finit* al formației active, de *puterea finită de cuprindere pe conex*, pe colateral — este compensată, relativ și parțial, printr-o putere de pătrundere consecventă și consistentă în adîncime.

Atît realul, cît și reflectarea acestuia în formația activă sînt amîndouă forme ale existenței. Dar din momentul în care o parte a realului se contrapune și totodată se integrează restului realului, pe urmă cuprinde în sine, transpus, restul realului și purcede la transformarea acestuia, are loc o trecere dialectică, adică un proces de transpunere a realului dintr-un imens volum conex într-un șir de planuri adînci.

Complexitatea conexă, și de aici plasticitatea și manevrabilitatea „naturalului (viului)", nu este întîmplătoare; ea vine din însăși necesitatea formației active de a face față existenței în conex. În primă instanță, pentru formația activă „adîncimea" este mult mai puțin semnificativă, nivelurile mult îndepărtate de nivelul conex își pierd semnificația directă tocmai datorită integrării lor de care am pomenit, datorită faptului că în nivelul superior ele apar integrate în noi elemente și relații. *Însuși modul de a fi al formației active o împinge pe aceasta cu necesitate la rezolvarea complexă pe conexiuni colaterale.* Poate că în virtutea acestui fapt nu apare întîmplătoare nici împrejurarea că în istoria gîndirii filozofice primul moment a fost un moment dialectic de cunoaștere globală și că abia ulterior a apărut gîndirea analitică, separatoare, urmărind „îngust și strîns" firul „de ce"-ului, gîndire ce s-a dezvoltat odată cu științele „exacte" și în cadrul lor. Moment mecanicist care a fost depășit și el, la rîndul lui, de un moment de nouă sinteză, dialectică, de reintegrare în conex, moment determinat de dezvoltarea științelor, în cadrul cărora conexul constituie un element de bază. N-am vrea să fim înțeleși... mecanicist: am amintit despre modul în care structura realului și semnificația acestuia pentru existența formațiilor active au determinat în *mare* conturarea momentelor principiale din gîndirea filozofică și ordonarea lor în timp; analiza amănunțită arată

prezența moment cu moment a ambelor moduri de abordare, arată în fiecare moment întreaga complexitate a gîndirii omenești cu toate avatarurile ei! Iar dacă ne-am referi, cum am mai făcut-o și în alte rînduri, și la momentul pur psihologic, am adăuga că deseori întîlnim situații în care un gînditor „profesînd" mecanicismul gîndește în realitate dialectic, și invers!

Trecerea de la modelul teoretic la implementarea lui în real constituie însă un moment și mai dificil decît cel al elaborării modelului însuși. De aceea, pare-se, în artefact apar diferențiate și mai puternic aspectele de *adîncime* și de *conex*; de aici atît „adîncimea" artefactului, consecvența sa pe o anumită linie, cît și relativa sa sărăcie conexă. Urmărirea consecventă în adîncime a firului unor conexiuni simultan cu renunțarea la mulțimea conexiunilor colaterale constituie rezultatul puterii de cuprindere finite a sistemului nervos al unei formații active date. Realizînd artefactul, formația activă urmărește îndeaproape un anumit fir, străduindu-se să mențină conexiunile colaterale într-un cadru stabilit în prealabil. S-ar putea spune că *artefactul este „adaptat" activ pe o linie și pasiv în tot restul. „Naturalul" se adaptează activ la tot complexul interacțiunilor sale.*

Cele spuse sînt deosebit de semnificative pentru discutarea raporturilor creier uman — creier artificial, în care situația se prezintă cam astfel: pe linia modelelor teoretice logice-raționale, înaintarea apare foarte puternică, „creierul artificial" teoretic fiind relativ elaborat.

Pe linia modelelor reale, cu toate succesele de necontestat și cu toată euforia primului moment, înaintarea este însă mai mult decît modestă, orice comparație fiind de la început practic ucigătoare pentru artefact. Prin urmare, și aici, după cum spuneam, vom avea de luat în considerare trei termeni: creierul uman așa cum îl cunoaștem sau, mai degrabă, așa cum nu-l cunoaștem astăzi; „creierul artificial" așa cum ar putea rezulta din modelele teoretice cunoscute astăzi; și „creierul artificial" așa cum este el acum și în perspectivă rațională imediată.

„Creierul artificial" a apărut și s-a dezvoltat atît ca obiect, cît și ca model teoretic ca urmare a dezvoltării teoriei, a construcției automatelor și a mijloacelor de calcul.

Automatele s-au înscris pe linia elaborării de către om a mijloacelor de stăpînire a naturii din momentul în care

acesta și-a pus și a început să rezolve problema *înlocuirii sale ca element de dirijare a proceselor* [1].

Într-adevăr, dacă am schița în mare evoluția mijloacelor de producție elaborate de om, luînd ca exemplu *strungul* sau, în genere *mașina-unealtă*, am putea distinge următoarele etape. Prima: omul a fost atît pe post de motor, cît și de parte a mecanismului de execuție, dar și pe post de coordonator al procesului. A doua: energia este luată prin motor de la căderile de apă (ulterior aburul, electricitatea), omul *s-a înlocuit* prin urmare, de pe postul de motor. A treia: omul *se înlocuiește* și *în mecanismul de execuție*, elaborînd suportul cuțitului, suportul uneltei propriu-zise, rămînînd însă cu controlul mișcării. A patra: mașina-unealtă de copiat; omul se *înlocuiește și în controlul mișcărilor*, rămînînd cu supravegherea de ansamblu. A cincea: fabrica automat; omul *se înlocuiește în general de la participarea nemijlocită în producție*, rămînînd cu conceperea și cu supravegherea în mare a fabricii-automat. După cum vedem, începînd cu faza a patra, dispozitivele automate preiau funcții de control, funcții specifice creierului.

Primul astfel de automat cu autocontrol cunoscut pînă astăzi în istorie, este dispozitivul descris în anul 1588 de inginerul italian Ramelli. Este vorba de un sistem care asigură încărcarea corespunzătoare cu grăunțe a unei mori acționate de forța apei. Într-adevăr, dacă cantitatea de grăunțe este prea mică sau de apă prea mare, moara se ambalează, iar dacă prima este prea mare, respectiv a doua prea mică, moara se înfundă. Sistemul de comandă este format astfel: pe un ax care se rotește comandat de moară, este fixat un manșon hexagonal, astfel ca în rotire muchiile să lovească pe rînd jgheabul (fig. 33). La fiecare lovitură, jgheabul lasă să cadă o anumită cantitate de grăunțe. Dacă dintr-un motiv oarecare (creșterea debitului apei sau scăderea densității grăunților) moara se ambalează, axul se rotește mai repede, frecvența scuturăturilor jgheabului crește și moara se încarcă mai puternic. Dacă, dimpotrivă, dintr-un motiv oarecare moara încetinește turația, scuturăturile jgheabului se răresc, cantitatea de grăunțe dată spre măcinare scade și se evită înfundarea morii. Analizînd *structura* dispozitivului, obținem schema din figura 34, unde putem distinge două circuite: primul, pietrele de moară, rotindu-se, macină grăunțele și la ieșire se obține făina, acesta fiind procesul de bază, procesul energetic în care se utilizează energia de cădere a apei pentru măcinarea grăunților, ansamblul constituind obiectul comandat; al doilea, în paralel cu primul, moara transmite manșonului viteza (interacțiune informațională!) iar acesta comandă (bucla de reacție inversă!) scuturăturile jgheabului, efectuînd procesul de reglaj, ansamblul constituind dispozitivul de comandă.

[1] Inițial automatele au fost dezvoltate din considerente la început neutilitare, sub formă de *jucării* care imită animale, oameni etc. Rezultatul utilitar al acestei linii a fost însă colosal; afirmația este valabilă dacă ne-am referi fie și numai la *ceas*, care a apărut tocmai din această „linie"!

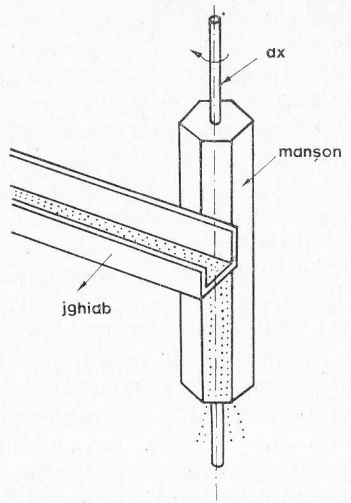


Fig. 33 — Primul automat cu autocontrol cunoscut în istorie: moara lui Ramelli.

Orice alt sistem de reglaj am considera, oricît de complex ar fi acesta, întotdeauna vom regăsi ca *principial necesare în structura automatelor cu autocontrol interacțiunea informa-*

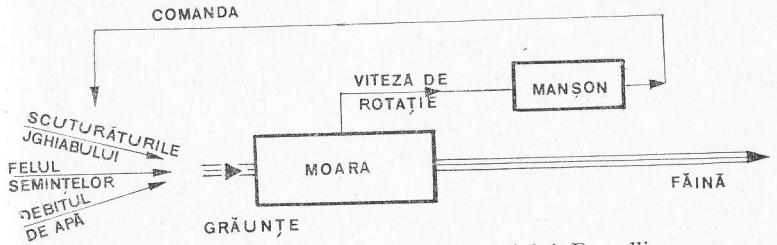


Fig. 34 — Schema principială a automatului lui Ramelli.

ţională, care asigură „cunoaşterea" stării de fapt a parametrilor urmăriţi, *bucla de reacţie inversă*, care asigură la intrare o comandă coordonată cu starea de la ieşire, şi *organul de apreciere* (rudimentar sau dezvoltat pînă la un „creier artificial"), care asigură caracterul necesitat de *coordonare* între intrare şi ieşire după *programul care se impune ieşirii*. Ca urmare, în orice sistem automat cu autocontrol distingem trei grupuri de blocuri funcţionale: *traductoarele*, care asigură traducerea mărimilor urmărite în semnale corespunzătoare, prin urmare asigură momentul fizic al interacţiunii informaţionale; *efectoarele*, organele care asigură realizarea în mediul dat a acţiunilor prescrise, care deci realizează efectiv acţiunile; în fine, *organele prelucrătoare de informaţie*, care, pe baza semnalelor primite, elaborează comenzile corespunzătoare, prin urmare efectuează momentele cognitive şi pragmatice ale interacţiunii informaţionale şi, pe baza lor, elaborarea deciziilor.

În ceea ce priveşte *traductoarele*, ele au constituit şi continuă să constituie în primul rînd extinderi ale organelor de simţ umane, iar în locurile unde omul se înlocuieşte cu un automat ele constituie „organe de simţ" ale acestuia. Prima caracteristică a traductoarelor este *specializarea*. Traductoarele permit sesizarea şi obţinerea de semnale nu numai direct corespunzătoare simţurilor („pipăit", traductor de cap de cursă; „vedere", celula fotoelectrică; „gust", traductor al concentraţiei unei soluţii; „miros", traductor al prezenţei unor gaze; „auz", microfonul!), ci şi „traducerea în semnal" a numeroase mărimi altfel inabordabile simţurilor (intensitatea cîmpului electromagnetic, concentraţia ionilor, vibraţiile infime ale aerului, atingerea firelor de praf între ele, mişcarea electronilor, prezenţa razelor infraroşii şi ultraviolete şi multe, multe alte mărimi). A doua caracteristică este *sensibilitatea*, capacitatea de sesizare a unor mărimi „traduse" din ce în ce mai mici, capacitate care în unele cazuri ajunge la limita fizică posibilă (de exemplu sesizarea, „vederea" unui singur foton!). A treia caracteristică este *puterea de rezoluţie*, capacitatea de sesizare a variaţiilor mărimii „traduse", capacitate care creşte şi ea odată cu dezvoltarea mijloacelor tehnice.

Organele de acţiune — *efectoarele* — sînt numeroase şi extrem de diverse, după numeroasele acţiuni ce se cer efectuate. Caracteristicile lor principale sînt de asemenea *specializarea şi performanţa pe o anumită linie*, fie ea precizie, viteză, putere etc. Din punctul de vedere pe care-l examinăm, ne interesează însă în particular performanţele pe linia ela-

borării „mîinii artificiale", a „piciorului artificial", a dispozitivelor de apucat şi de manevrat şi a celor de mers, deoarece examinarea acestora ne va pune în evidenţă o caracteristică pe care o considerăm principială pentru orice artefact.

Se ştie din mecanică că deplasarea pe o direcţie oarecare este asigurată de prezenţa unui grad de libertate. Pentru a deplasa un obiect dintr-un punct al spaţiului în altul şi pentru a-l orienta într-un chip oarecare sînt necesare şase grade de libertate: trei grade pentru a asigura deplasarea pe cele trei axe reciproc perpendiculare faţă de care se caracterizează poziţia în spaţiu şi trei grade pentru a permite rotirea în jurul fiecărui ax, astfel ca obiectul să poată fi adus în orice poziţie dorită. Membrul superior posedă şapte grade de libertate: trei grade de libertate le are încheietura umărului (braţul se poate roti în raport cu fiecare din cele trei axe), trei grade de libertate le are încheietura palmei cu antebraţul (palma de asemenea se poate roti în jurul a trei axe) şi un grad de libertate îl posedă încheietura cotului (antebraţul şi cu braţul sînt totdeauna în acelaşi plan, mişcarea făcîndu-se în jurul unui ax perpendicular pe acest plan). Acest al şaptelea grad de libertate măreşte enorm zona de acţiune a mîinii, fără care mîna ar putea deplasa şi orienta un obiect numai în zona situată în domeniul de acces al braţului şi antebraţului, ţinute întinse. În afara însă a acestor grade de libertate mîna posedă şi gradele de libertate pe care le conferă degetele: fiecare falangă permite rotirea în jurul unui ax, deci patru degete cu cîte trei falange şi degetul mare cu două însemnă 14 grade de libertate; deplasarea degetelor în plan, unul în raport cu altul, înseamnă patru grade de libertate şi încă două grade se obţin din dubla deplasare posibilă a degetului mare, deci în ansamblu degetele asigură 20 de grade de libertate.

Mîna, în total, posedă 27 de grade de libertate, iar ambele mîini 54! Datorită acestui fapt, precum şi datorită capacităţii încheieturilor de „a se antrena" prin exersare, *fapt iarăşi principial*, mîna este un mecanism universal care ia un pumn de nisip sau un vîrf de sare, o foaie de metal sau un pietroi, conduce un creion sau un ac, o pilă sau un arcuş, o manetă a unui avion sau butoanele unui microscop. Ceea ce caracterizează mîna este tocmai *manevrabilitatea* deosebită, *plasticitatea* şi *varietatea mişcărilor* care pot fi efectuate de unul şi acelaşi „mecanism". Acelaşi lucru se poate spune despre picior, singurul „mecanism" care,

prin plasticitatea și manevrabilitatea pe care o posedă, asigură deplasarea pe suprafața pămîntului fără a fi necesare amenajări speciale, amenajări pe care le cer *toate* mijloacele de transport elaborate, toate artefactele! Cea mai complicată „mînă mecanică" realizată posedă 9 grade de libertate și este considerată o minune a tehnicii! Și deși nu se întrevăd impedimente *principiale* pentru a realiza o mînă de complexitatea celei umane, dificultățile *practice* fac ca problema să nu fie pusă în discuție! Cînd este vorba însă de creierul artificial, situația se prezintă, oricît ar părea de paradoxal, altfel: pe de o parte, unii pun la îndoială însăși posibilitatea principială, teoretică a unui „adevărat" creier artificial și pe de alta, alții își pun în mod serios problema realizării practice a unui creier artificial cu mijloacele actuale!

Înainte de a trece mai departe la aspectele amintite, ținem să subliniem că situația în domeniul artefactului — fie că este vorba de organe traductoare, fie de organe de acționare — se prezintă izbitor de asemănătoare cu cea a modelelor teoretice, matematice sau fizice: puternică adîncime rațională, adică puternică specializare și perfecționare pe o linie, și puternică limitare colaterală, plasticitate și universalitate extrem de reduse! Aceeași situație o vom regăsi, anticipăm, și în domeniul artefactului menit să efectueze operații specifice sistemului nervos.

Creierul artificial, după cum spuneam, constituie cel de al treilea bloc al instalațiilor automate, *blocul de prelucrare a informației și de elaborare a deciziei*. Anvergura blocului de prelucrare a datelor este determinată de complexitatea automatului, complexitate care, la rîndul ei, rezultă din doi factori: din structura automatului și din complexitatea propriuzisă a prelucrărilor de date de efectuat; acești doi factori nu sînt însă, în general vorbind, decît relativ independenți.

În mare, putem distinge trei structuri.

Prima: structura cea mai simplă, automatul fără autocontrol, cum sînt, de exemplu, toate automatele de vînzare din comerț. Structura acestora este arătată în figura 35. La apariția comenzii, blocul de *dirijare* selectează programul și, în conformitate cu acesta, trimite organului de execuție succesiunea de comenzi ordonată în timp și spațiu, potrivit cărora are loc acționarea asupra obiectului comandat. Operațiile îndeplinite sînt, prin urmare, *selecția* programului și extragerea șirului de comenzi cu trimiterea lor organului necesar în momentul necesar. Se vede că blocul care conține

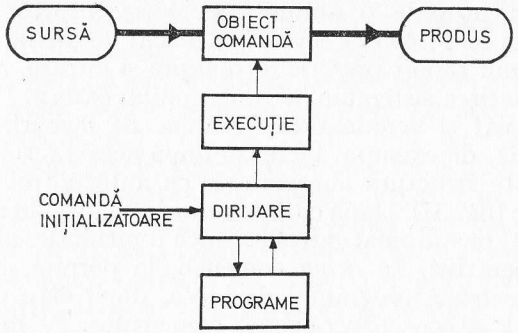


Fig. 35 — Automatul fără autocontrol.

programele constituie o *memorie*. Un astfel de automat este prin excelență stereotip: nu admite și nu efectuează nici un fel de modificare a programelor și a executării acestora fără o intervenție modificatoare din afară.

A doua: este structura cu autocontrol (fig. 36). Se vede imediat că, în afară de selecția programului în raport cu comanda și de elaborarea pas cu pas a comenzilor potrivit programului selectat, în funcționarea acestei structuri mai intervine, pe de o parte, *măsurarea prin traductor a rezultatului* executării comenzilor (fie a poziției luate de organele de execuție, fie a *modificărilor rezultate* în obiectul comandat, fie și a unora, și a altora), iar pe de altă parte *corecția comenzilor funcție de informația recepționată:* adică sistemul este prevăzut cu o buclă de reacție inversă prin intermediul unei interacțiuni informaționale. În cazul particular în care pro-

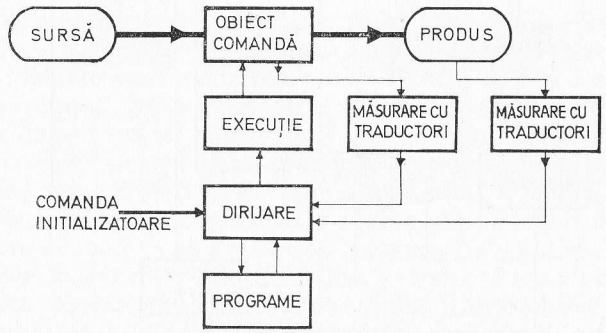


Fig. 36 — Automatul cu autocontrol.

gramul extern prevede o anumită evoluție a procesului, sistemul devine un *sistem de urmărire*, blocul de dirijare asigurînd un anumit raport prescris între ieșire și intrare, urmărirea de către ieșirea sistemului a programului extern. Dispozitivele de copiat și nenumăratele sisteme de urmărire din tehnica spațială, de exempu, lucrează după această schemă.

A treia: este structura automatelor cu autocontrol și cu autoorganizare (fig. 37). După cum se vede din figură, în structura unui astfel de automat intervine încă o memorie, memoria internă operativă. În urma comenzii, la pornire, blocul de dirijare selectează programul de lucru, după care transmite blocului de execuție succesiunea comenzilor. Pe măsura efectuării acestora, organele traductoare elaborează semnalele purtătoare de informație asupra modului în care a decurs procesul, mod înregistrat de blocul de dirijare în memoria operativă; înregistrarea, la rîndul ei, este prelucrată de către blocul de dirijare, prelucrare în urma căreia programul inițial este corectat și completat cu datele rezultate din experiența desfășurării primului ciclu; al doilea ciclu se desfășoară după acest nou program corectat; după efectuarea lui rezultă, ca urmare a noii experiențe, un alt program, cu noi corecții. După un număr de cicluri, desfășurarea procesului este *optimizată*: automatul s-a autoorganizat. În acest caz, în memoria externă se introduc inițial *programul în mare și criteriile de optimizare*. Blocul de dirijare elaborează în acest caz simultan *procesul* și *programul de desfășurare* a acestuia, „acumulează experiență".

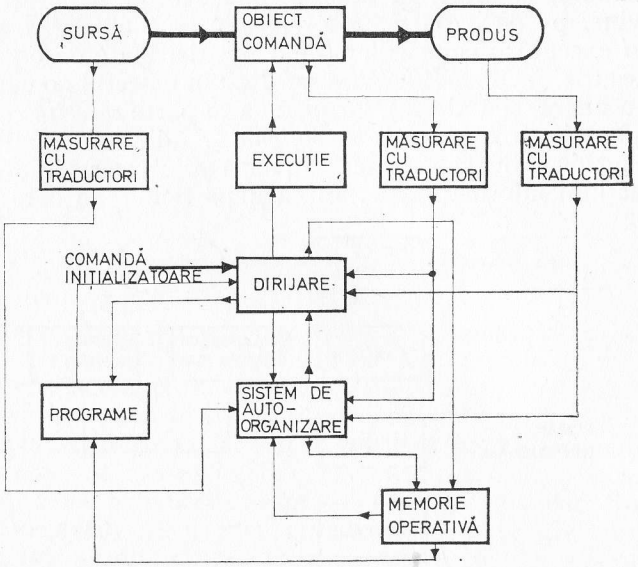


Fig. 37 — Automatul cu autocontrol și autoorganizare.

Din punctul de vedere al interacțiunii informaționale pe care o formație activă o desfășoară pentru a exista în mediu, prima structură de automat prezintă doar momentul fizic, adică constatarea a ceea ce trebuie făcut, restul fiind prefixat. A doua structură de automat implică momentele fizic și cognitiv: momentul fizic, adică constatarea a ceea ce trebuie făcut și a ceea ce a avut loc, și momentul cognitiv, constînd în compararea a ceea ce a avut loc cu ceea ce ar fi trebuit să aibă loc, semnificarea a ceea ce a avut loc; valoarea semnificației și decizia corespunzătoare sînt prefixate. A treia structură de automat cuprinde toate cele trei momente ale interacțiunii informaționale, întrucît pe baza semnificației a ceea ce a avut loc, în lumina criteriilor de optimizare, se elaborează estimarea, evaluarea a ceea ce a avut loc și pe baza aceasta se elaborează, se modifică însuși modul de selectare al deciziilor. Din acest punct de vedere, a treia structură se apropie cel mai mult de o formație activă naturală. În punctul în care ne aflăm cu discuția se vede că deosebirea dintre formațiile respective constă cel puțin în aceea că formația activă naturală posedă un „eu" din al cărui mod de a fi rezultă programul dorit și direcția de optimizare a procesului, în timp ce pentru automat ele sînt date, impuse din afară. Dar dacă această deosebire este de principiu sau dacă aceasta este singura deosebire de principiu, vom discuta ceva mai tîrziu.

Deocamdată, revenind la sistemele automate, vom preciza că teoria reglajului automat are, printre problemele sale, două probleme cardinale: cea a *sensibilității* și cea a *stabilității*. În cadrul primei probleme trebuie rezolvată determinarea comportării sistemului la diferitele modificări ale elementelor sale: în cursul funcționării proprietățile sistemului de reglaj se modifică ca urmare a uzajului, a îmbătrînirii, a modificării lente a condițiilor de lucru, iar sistemul trebuie și în aceste condiții să continue a asigura îndeplinirea funcțiilor sale în cadrul plajei de valori permise. La automatele complexe, problema nu este deloc simplă; „automatele naturale" prezintă o capacitate colosală de a-și păstra proprietățile în pofida uzurii; creierul uman lucrează, în medie,

circa 70 de ani „fără reparații", deși în cursul acestor 70 de ani în fiecare ceas mor, adică dispar din funcționare, minimum circa 1000 de neuroni, în total într-o viață circa 500 de milioane, deci cam 5% din total! [1]. În cadrul celei de-a doua probleme, a stabilității, trebuie asigurată comportarea corespunzătoare a sistemului în condițiile acționării micilor șocuri din mediu, șocuri care tind să-l scoată din regimul prescris de funcționare. Dacă sistemul, în pofida șocurilor, continuă să urmeze evoluția prescrisă, el este stabil; dacă, dimpotrivă, șocurile determină părăsirea liniei de desfășurare a procesului sau oscilații în jurul acesteia, sistemul este instabil. În cazul primei instabilități (în cazul părăsirii liniei de desfășurare a procesului), sistemul părăsește domeniul obișnuit de evoluție și, după cum spuneam atunci cînd discutam problemele reacției inverse, se îndreaptă spre alte zone care duc la modificări structurale, adică sistemul încetează să mai fie ca atare. În cazul celei de-a doua instabilități, sistemul continuă să rămînă în jurul zonei inițiale de funcționare, dar efectuează oscilații parazite în această zonă: sistemul de reglaj nu mai menține constantă, să zicem, viteza unei mașini, ci aceasta este cînd accelerată, cînd încetinită. Fenomenul îl întîlnim și la formațiile active naturale: persoana care suferă de tremurătură intențională nu poate duce, de exemplu, un pahar cu apă la gură, deoarece poziția mîinii oscilează în jurul poziției medii și, deviind cînd spre dreapta, cînd spre stînga poziției normale, duce la vărsarea conținutului paharului. Dacă la formațiile active naturale instabilitatea constituie cazuri patologice, cazuri de boală, la sistemele automate ea constituie o problemă primară în proiectare: cu cît sistemul este mai complex cu atît șansele ca acesta să se dovedească instabil sînt mai mari.

Dar, din punctul de vedere al problemei pe care o tratăm, pe noi ne interesează în principal structura și proprietățile „creierului artificial", ale ansamblului format din blocurile de dirijare, de autoorganizare și de memorie. Trecînd în revistă

[1] După unii autori, proporția este mult mai mare. V.V. Frolkis, în „Starenie i biologhiceskie vozmojnosti organizma" (Izd. „Nauka", Moskva, 1975, p. 110), arată că o anumită reprezentare a modificărilor din creier cu vîrsta o poate da evoluția numărului elementelor nervoase pe suprafața de secțiune. Astfel, „pe 1 mm² de secțiune în învelișul cortical al creierului mic al oamenilor se găsesc la 30—40 de ani, în medie, 825 de celule, la 60 de ani 640—680, la 70—100 de ani 400—500 de celule". Simultan se observă o creștere a numărului fibrelor conjunctive.

blocurile respective, constatăm în primul rînd că în unele sisteme ele lucrează în regim analog, iar în altele în regim discret, numeric, mai rar în regim hibrid. În cele ce urmează ne vom ocupa de sistemele discrete, numerice, ele fiind acelea care, prin dezvoltarea lor, au ajuns să pună problema echivalenței „creierului artificial" cu cel natural. Ținem însă să subliniem că, în interacțiunea cu mediul, sistemul automat, ca și formația activă naturală, au a face în principal cu mărimi analogice, transpunerea analog-digitală și cea inversă, digital-analogică, făcîndu-se prin operațiile respective de conversie [1]. În cele ce urmează vom presupune deci că informația care intră și comenzile care se elaborează au caracter discret, numeric, iar obținerea lor din sau transpunerea lor în mărimi analogice este făcută în afara blocurilor propriu-zise de prelucrare a informației de către convertorii respectivi.

Înainte de a trece mai departe trebuie însă să vedem dacă limitarea de mai sus este arbitrară și, ca atare, inadmisibilă într-o discuție de principiu. Limitarea nu este arbitrară; dimpotrivă, întreaga fizică modernă a arătat că structura realului este discretă (sigur în ceea ce privește substanța, energia și interacțiunile respective; există de asemenea foarte puternice motive să se presupună că și structura cîmpului, a spațiului și a timpului ar fi discretă), analogul, continuul apărînd ca un fenomen la scară macroscopică, integrator al fenomenelor microdiscrete. Prin urmare, dacă în considerarea comportărilor analogice am coborî pînă la nivelul cuantic, am găsi și în acest caz structuri discrete.

Teoria automatelor discrete se mai numește și *teoria mașinilor secvențiale*. Începem prin a preciza că termenul „mașină" în cadrul teoriei automatelor, ca și în cadrul teoriei mașinilor de calcul, are un alt înțeles decît cel obișnuit. Într-adevăr, în mod obișnuit, cuvîntul „mașină" evocă un *obiect fizic* construit pentru a realiza o funcție oarecare. În cadrul domeniilor despre care vorbim, „mașina" constituie o *reprezentare abstractă, adică o reprezentare despre modul în care un obiect fizic ar trebui să funcționeze pentru a realiza o funcție*

[1] Conversia analog-digitală este operația care, prin eșantionare și cuantizare transformă un semnal analog, de exemplu variația continuă a unei tensiuni, frecvențe etc., într-un semnal discret, adică într-un șir de numere implementate în stări discrete ale unor circuite. Conversia digital-analogică reprezintă operația inversă: obținerea unui semnal cu variație continuă, analogic din șirul de numere care constituie semnalul discret.

oarecare. În cadrul acestei reprezentări, limitările fizice sînt minime și au un caracter general, de principiu: interesează, de exemplu, dacă o anumită operație poate fi făcută prin mișcarea unor rotițe de o anumită formă sau prin asamblarea unor circuite electrice care să posede anumite proprietăți și nu interesează detaliile concrete referitoare la materiale, la modul de realizare, la tipul de îmbinare etc. În virtutea însuși a acestui caracter general, limitările fizice considerate sînt hotărîtoare, determinante. Raportul dintre real și model este aici, într-un anumit sens, *inversat* față de raportul dintre real și model în cadrul teoriilor științifice. Teoria științifică se elaborează pe baza cunoașterii realului, prin măsurători și experiențe efectuate asupra acestuia. Teoria științifică constituie un model; din structura acestuia și din modul lui de funcționare rezultă explicarea proprietăților realului. Dacă măsurători ulterioare, verificate și confirmate, arată o necorespondență între ceea ce ar trebui să rezulte din teorie și ceea ce se constată în real, concluzia este netă: modelul trebuie reconsiderat pentru a corespunde realului. „La urma urmelor, de existat există universul și nu-i treaba fizicianului, să-l critice, oricît ar dori-o. În cadrul teoriilor științifice, modelul este încontinuu rafinat pentru a-l apropia, pentru a-l face cît mai adecvat realului" [1]. În cazul mașinii, situația este, după cum spuneam, inversă: reprezentarea abstractă despre mașină constă în *cum poate* și *cum trebuie* să lucreze obiectul fizic considerat; dacă se ivește o încălcare a modului de funcționare, dacă se constată o necorespondență între comportarea reală a obiectului și reprezentarea despre modul cum ar trebui să funcționeze, de vină este partea materială a sistemului: în *real nu a fost implementat în mod corect modelul, artefactul nu este realizat cum trebuie*. În acest cadru, realul, artefactul, este încontinuu rafinat pentru a-l face cît mai corespunzător, pentru a-l apropia cît mai mult de posibilitățile potențiale ale mașinii, ale modelului. Prin urmare, în cadrul teoriei automatelor, prin mașină se înțelege modelul abstract, principial al unui artefact, care, dacă este realizat conform modelului, îndeplinește funcțiile prescrise. „Am putea, probabil, chiar să ne raliem punctului de vedere potrivit căruia valabilitatea unei afirmații aritmetice este echivalentă cu aceea a afirmației că o mașină corect construită

[1] Marvin L. Minsky, *Computation: Finite and Infinite Machines*, Prentice-Hall, Inc., New York, 1967, p. 5.

va funcționa"[1], aceasta în virtutea *consistenței sale interne logice* și a faptului că s-a *ținut seama de limitările de principiu impuse de real*.

Înainte de a trece mai departe am dori să facem iarăși o remarcă cu privire la atitudinea psihologică diferită care se constituie ca urmare a mînuirii teoriei, să zicem așa, în calitate de „fizician" sau de „matematician": pentru cel dintîi, primatul îl are realul; pentru cel de-al doilea primatul îl are logica! (relativ, nu absolut!). Primul caută să descopere logica realului, cel de-al doilea să îmbrace logica pe care a elaborat-o! Ceea ce nu înseamnă că am considera cea de-a doua poziție „inferioară" sau „ilegală", nicidecum. Orice logică constituie și ea o reflectare a realului, însă rămîne deschisă problema care anume logică corespunde la o anumită secțiune în real. Tipul psihic pe care l-am denumit „matematician" are tendința psihologică spontană de a trece relativ mai ușor peste problema corespondenței, după cum tendința psihologică spontană a tipului „fizician" este de a include în modelul elaborat și faptele sau datele experimentale care logic nu se încadrează prea bine în modelul respectiv, eventual cu ajutorul unei ipoteze suplimentare. Este și acesta un efect al diviziunii muncii!

Revenind la mașinile secvențiale, să lămurim ce anume implică caracterul de „secvențial". Prin secvențial se înțelege faptul că mașina operează pas cu pas: dacă la un anumit moment t_k mașina se află într-o situație dată S_k, în momentul următor t_{k+1} mașina trece într-o altă situație oarecare S_{k+1}, *fără faze intermediare*; mai exact, chiar dacă în realitate mașina trece în mod continuu, din aproape în aproape, dintr-o situație în alta, situațiile mașinii sînt considerate numai în astfel de momente discrete de timp, t_{k-1}, t_k, t_{k+1}, în care mașina se află în situații *bine definite* S_{k-1}, S_k, S_{k+1}. Este de competența constructorului să asigure trecerea corectă a unei mașini fizice sau a unui dispozitiv de la o situație la alta; mașina reală trebuie să posede proprietatea mașinii abstracte, a modelului, de a putea fi „stimulată" sau „interogată", de a putea „răspunde" sau „acționa" numai în momente bine precizate, fie că momentele sînt la distanțe egale sau inegale unele de altele, fie că mașinile sînt sincrone (au funcționarea determinată de un „ceas" central comun care bate tactul) sau asincrone (lucrează după principiul „eu am

[1] Marvin L. Minsky, *op. cit.*, p. 6.

terminat, urmezi tu"). Mașinile despre care vorbim — am văzut că acest fapt nu constituie o limitare principială! — pot lua valori discrete ale mărimilor care le caracterizează în momente discrete ale timpului de desfășurare a procesului.

La modul cel mai general, o astfel de mașină (o mașină secvențială) este reprezentată printr-o „cutie" — un dispozitiv cu o oarecare structură internă — căreia i se aplică o intrare I, are o stare Q și dă o ieșire E, fiecare din acestea fiind considerate, după cum am spus, în momente discrete de timp. Cu alte cuvinte, dacă înaintea începerii funcționării, intrarea mașinii era I_0, starea Q_0, și ieșirea E_0, funcționarea mașinii se desfășoară potrivit următoarei scheme:

$$t = t_0 \; = t_1 \; t_2 \; t_3 \; \ldots \; t_{k-1} \; t_k \; t_{k+1} \; \ldots$$

$$I = I_0 \; = I_1 \; I_2 \; I_3 \; \ldots \; I_{k-1} \; I_k \; I_{k+1} \; \ldots$$

$$Q = Q_0 \; = Q_1 \; Q_2 \; Q_3 \; \ldots \; Q_{k-1} \; Q_k \; Q_{k+1} \; \ldots$$

$$E = E_0 \; = E_1 \; E_2 \; E_3 \; \ldots \; E_{k-1} \; E_k \; E_{k+1} \; \ldots$$

În continuare se introduc două noi limitări principiale: prima, caracterul finit al mașinii; a doua, caracterul inerțial al proceselor din mașină.

Potrivit primei limitări, intrarea poate lua doar un număr finit de valori dintr-o mulțime de valori posibile; tot astfel ieșirea și starea. Cu alte cuvinte, intrarea I poate fi formată în realitate fie dintr-un singur parametru, care poate lua o valoare din k valori posibile, fie din m parametri, fiecare putînd lua o valoare din n valori: principial este faptul că atît k, cît și m și n sînt finite. Starea mașinii ca un tot este determinată de starea elementelor care o compun; mașina fiind compusă dintr-un număr finit de elemente, care, fiecare în parte, poate lua doar un număr finit de stări, rezultă că mașina ca un tot poate lua și ea numai un număr finit de stări [1]. În mod curent se studiază mașinile ale căror intrări, elemente și ieșiri pot lua una din două stări posibile. Aceste două stări sînt notate în mod convențional cu *0* și *1*. Aceasta pentru că mașinile actuale în imensa lor majoritate, sînt astfel

[1] Matematica ia în considerare și mașini cu un număr infinit de stări; concluziile la care se ajunge pentru astfel de mașini în sensul limitării posibilităților acestora sînt cu atît mai valabile cînd se introduce limitarea suplimentară că numărul stărilor este finit.

construite și pentru că se demonstrează că oricărei mașini care acceptă un număr mai mare de stări ale parametrilor i se poate găsi o mașină echivalentă, în sensul că îndeplinește aceleași funcții, formată din elemente care pot lua doar două stări.

A doua limitare rezultă din luarea în considerare, după cum spuneam, a caracterului inerțial al procesului desfășurat în mașină: după cum un corp nu poate trece *instantaneu* dintr-un loc în altul, adică nu se poate afla simultan în două locuri, tot astfel starea și ieșirea mașinii la un moment dat t_k nu sînt influențate de intrarea și de starea din același moment, ci numai de intrarea și de starea din momentul anterior, t_{k-1}. Cu alte cuvinte, revenind la schema de mai înainte, Q_k și E_k, starea și ieșirea mașinii la momentul t_k sînt determinate de I_{k-1} și Q_{k-1}, de intrarea și de starea mașinii din momentul anterior. Rezumînd, putem spune că mașina este caracterizată de un cvintet de relații:

$L\{I\}$ — mulțimea stărilor diferite pe care le poate lua intrarea;

$L\{Q\}$ — mulțimea stărilor diferite pe care le poate lua starea;

$E\{E\}$ — mulțimea stărilor diferite pe care le poate lua ieșirea;

$E_k = R(I_{k-1}, Q_{k-1})$ — relația care dă răspunsul mașinii E_k funcție de intrarea și de starea mașinii la momentul anterior I_{k-1}, Q_{k-1};

$Q_k = S(I_{k-1}, Q_{k-1})$ — relația care dă noua stare a mașinii în momentul t_k funcție de intrarea și starea din momentul anterior, t_{k-1}.

Detaliind în continuare structura mașinii, vom deosebi în cadrul acesteia așa-numitele *circuite combinaționale*, caracterizate prin aceea că *ieșirea acestora* este *determinată univoc de starea actuală* (nu precedentă) a *intrărilor*, de *circuitele de memorie*, a căror stare actuală este *determinată de starea anterioară*. Atunci mașina secvențială poate fi reprezentată ca în figura 38.

Să arătăm că acest model atît de abstract cuprinde în sine momentele esențiale ale interacțiunii informaționale. Sesizarea modificării intrării, a trecerii acesteia dintr-o stare oarecare I_k în alta, I_{k+1}, reprezintă constatarea a ce s-a întîmplat în mediu, realizarea momentului fizic al interac-

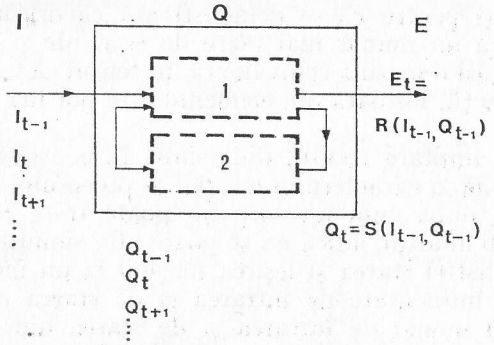


Fig. 38 — Mașina secvențială. I — intrările; Q — stările; E — ieșirile. 1 — circuite combinaționale; 2 — memorie.

țiunii informaționale. Q_k starea în care se află mașina, este rezultatul istoriei precedente a desfășurării procesului, reprezintă deci experiența acumulată, „reprezentarea" despre sine și mediu. $Q_{k+1} = S(I_k, Q_k)$ trecerea într-o nouă stare funcție de semnificația modificării intrării și de vechea stare, reprezintă momentul cognitiv al interacțiunii, elaborarea unei noi reflectări. $E_k = R(I_k, Q_k)$ evaluarea intrării și a semnificației acesteia și elaborarea unei comenzi corespunzătoare E_k, întruchipează momentul pragmatic al interacțiunii informaționale și trecerea la decizie, care, după cum spuneam, face parte din (și totodată depășește) interacțiunea informațională propriu-zisă.

Oricît ar părea de abstractă la prima vedere această modelare, oricît ar apărea, poate, de „forțată", ea este reală; *ea stă, în ultimă esență, la baza elaborării și a construirii tuturor creierilor artificiali de pînă în prezent.* Mai mult, *această modelare sau alte modelări demonstrate matematic ca identice cu aceasta stau, în ultimă instanță, la baza tuturor afirmațiilor despre identitatea teoretică a creierilor artificiali cu cel uman.*

Că lucrurile stau astfel nu trebuie să ne mire; interacțiunea informațională constituie activitatea specifică a sistemului nervos. Orice mașină teoretică modelatoare a interacțiunii informaționale constituie, cel puțin sub un anumit racurs, un model teoretic al sistemului nervos. Orice mașină reală ce lucrează potrivit modelului teoretic este un creier artificial, care într-un anumit fel, cel puțin, seamănă cu creierul uman pe care-l modelează. Problema constă însă în a stabili, pe de o parte, la o limită dacă *toate felurile* de interacțiuni informaționale pot fi astfel modelate și, pe de altă parte, la cealaltă limită dacă în felul acesta sînt prinse, chiar în cazul celei mai banale interacțiuni informaționale, *toate elementele esențiale* ale acesteia. Pentru a putea analiza aceste două aspecte — în fond, miezul problemei pe care o tratăm — vom schița mai întîi problematica teoretică și rezultatele pe care le oferă teoria mașinilor secvențiale, precum și alte modele matematice echivalente ei; pe urmă vom descrie calculatorul electronic universal, construcția lui, funcționarea, problemele pe care le rezolvă și modul în care se încearcă a se trece pe seama calculatorului electronic, a creierului artificial, tot mai mult din funcțiile specifice creierului uman, tot mai mult din funcțiile nestereotipe ale sistemului nervos, să le spunem pe nume: tot mai mult din funcțiile de creație [1] ale creierului.

Problema centrală a teoriei mașinilor secvențiale, a teoriei automatelor în general este așa-numita problemă a *procedeului eficient,* prin care se înțelege studiul teoretic, de ansamblu, al claselor de probleme din punctul de vedere al *posibilităților* de rezolvare a acestora și nu studiul căilor concrete de rezolvare a diferitelor probleme. Două observații.

Prima: problemele luate în considerare nu sînt numai de ordinul calculului, adică aritmetice, ci ele sînt în principal probleme de logică, considerarea căilor de a trage concluzii din niște premise acceptate, mergînd din aproape în aproape pînă la concluzia finală. Ele se ocupă cu *analiza și modelarea logicii situațiilor* care intervin în desfășurarea proceselor din sistemele discrete, oricare ar fi natura acestora. A doua: spre deosebire de analiza matematică, analiză care se ocupă cu rezolvarea ecuațiilor (ecuațiile constituie, în fond, legătura logică stabilită între mărimile din sistemul luat în considerare, iar rezolvarea lor este găsirea modului în care variază unele dintre mărimi cînd celelalte mărimi variază de-a lungul domeniului lor de existență), teoria mașinilor se ocupă cu *studiul structurii ecuațiilor,* adică cu studiul structurii

[1] Apare evident că termenul de „creație" nu poate fi evitat într-o astfel de discuție. A încerca însă să-l definim aici ar însemna să intrăm într-un cerc vicios. Din felul cum am defini creația am stabili *ipso facto* și felul în care creierul artificial este sau nu identic cu cel uman! Vom lăsa, prin urmare, un înțeles... „scămos" termenului, urmînd ca el să se contureze mai net din discuție și nu invers.

legăturilor logice dintre mărimi. În cadrul teoriei automatelor se stabilesc: a) diferitele *clase de afirmații determinate logic*, modurile lor de înșiruire, posibilitatea reducerii (pe baza unei extrem de clare și bine definite logici a propozițiilor) a funcțiilor extrem de complicate la un șir logic construit din cîteva operații elementare; b) limitele principiale, dacă există și care sînt, în efectuarea unor astfel de operații [1].

Într-un anumit sens, valoarea teoretică fundamentală a acestor studii constă tocmai în această stabilire a unor *limite principiale ale posibilităților de rezolvare*. „Noțiunea procedeului eficient constituie un mijloc puternic de studiu al sistemelor mari și complexe, fie ele rațiunea sau sisteme tehnice. Domeniul ei evident de aplicabilitate îl constituie calculele și mașinile de calculat, dar eu socotesc că ea constituie în aceeași măsură un mijloc valoros pentru o înțelegere mai clară a unei serii întregi de probleme biologice, psihologice, matematice și (în special) filozofice. O astfel de afirmație poate apărea ca neverosimil de pretențioasă, de aceea o voi lămuri: teoria eficienței este necesară nu numai pentru demonstrarea unor proprietăți ale sistemelor complexe; ea este necesară și pentru demonstrarea și stabilirea unor afirmații despre însești proprietățile demonstrațiilor“[2].

Ideea *procedeului eficient* este de natură *intuitivă*, cu alte cuvinte pentru o serie întreagă de probleme pe care nu știm concret cum să le rezolvăm avem *convingerea intuitivă* că există un procedeu eficient care conduce la rezolvare. Pentru a găsi un astfel de procedeu eficient sînt necesare două condiții: pe de o parte, ca problema să fie formalizabilă, adică definibilă în termeni riguroși și cu legături explicite și univoc definibile între termeni, iar pe de altă parte ca ea să fie rezolvabilă într-un număr finit de pași (este evident că, dacă numărul de pași cerut pentru rezolvare este infinit, nu vom putea afirma niciodată, ajunși la un anumit pas, că problema este rezolvată sau rezolvabilă, afirmația respectivă neputînd fi făcută decît dacă am rezolvat problema, dacă am parcurs-o pînă la capăt). *Procedeul eficient se concretizează în fiecare caz în parte sub forma unui algoritm*, adică printr-un șir de reguli mecanice[1], care indică *pas cu pas, exhaustiv* cum trebuie procedat pentru a obține un rezultat. Exemple de algoritme des utilizate sînt: regula adunării, a înmulțirii, a găsirii celui mai mare divizor comun etc.

Pasul următor constă în a admite ipoteza că conceptul intuitiv, neformal, de procedeu eficient este identic cu un concept precis, acela de automat secvențial sau de mașină Turing, ceea ce este echivalent cu a admite că orice procedeu eficient, orice algoritm poate fi machetat, efectuat, identificat cu funcționarea unei mașini Turing sau cu funcționarea unei mașini secvențiale echivalente sau cu funcționarea unei rețele de „neuroni“ echivalente [2]. Această afirmație nu poate fi demonstrată formal, deoarece o demonstrație formală cere o definire riguroasă a conceptelor folosite și, prin urmare, este incompatibilă cu ideea unei noțiuni intuitive. Iar procedeul eficient, algoritmul, *este* o noțiune intuitivă.

Șirul judecăților care conduce la afirmarea identității dintre funcționarea creierului uman și cea a unei mașini secvențiale, sau, ceea ce este echivalent, funcționarea unei mașini Turing sau a unei rețele de „neuroni“, este aproximativ următorul: mașina îndeplinește pas cu pas procedura care i se indică, și anume efectuează algoritmul din momentul în care a căpătat *programul* — șirul de comenzi în ordinea

[1] Fie o problemă care conține n parametri. Analiza structurii problemei — nu rezolvarea ei! — poate arăta că numărul minim de operații necesare rezolvării este, să zicem, n^3 sau, poate, 3^n! În primul caz, pentru $n = 10$ avem nevoie de 1 000, în al doilea caz de circa 60 000 de operații! Pentru $n = 1\,000$ avem nevoie în primul caz de un milion de miliarde (1 urmat de 15 zerouri) de operații, în al doilea de un număr de ordinul a 1 urmat de cinci mii de zerouri. Importanța practică a stabilirii limitei minime pentru o problemă dată ($n^{3,2}$ sau n^5 sau 5^n sau $3{,}2^n$) este evidentă.

[2] Marvin L. Minsky, *op. cit.*, p. VIII.

[1] Mecanice în sensul că nu se admit ambiguități, ci doar reguli de procedură univoc determinate în fiecare moment, chiar dacă sînt condiționate: dacă este așa, procedezi astfel; dacă nu este așa, procedezi altfel și anume așa etc. etc.

[2]. Despre mașina secvențială ceva mai în amănunt, despre mașina Turing și rețelele de „neuroni“ vom discuta imediat deoarece n-am vrea să întrerupem acum șirul argumentației. Am pus „neuroni“ între ghilimele deoarece este vorba de modele ale neuronilor reali. Mașina Turing și rețeaua de „neuroni“ constituie, ca și mașinile secvențiale, modele ale interacțiunii informaționale, după cum am spus echivalente între ele. Există și alte moduri de tratare matematică a problemelor pe care le rezolvă teoria mașinilor Turing, de exemplu teoria funcțiilor recurente. Faptul că în cadrul diverselor teorii matematice referitoare la problemele pe care le considerăm se obțin rezultate echivalente și care constituie, după M.L. Minsky, un argument puternic în favoarea afirmațiilor referitoare la creierii naturali și artificiali care nu se demonstrează, ci se dovedesc intuitiv, ne scutește și pe noi, și pe cititor de a pătrunde cu discuția în domeniul arid al teoriilor matematice respective; rezultatele obținute fiind echivalente, argumentele referitoare la una dintre ele sînt valabile și pentru celelalte.

efectuării lor și datele necesare asupra cărora se efectuează comenzile. În acest sens, programul constituie o *descriere exactă, exhaustivă* a procesului. Prin urmare, tot ceea ce se poate efectua pe o mașină poate și trebuie să fie într-un anumit fel descris și, invers, tot ce poate fi descris exact poate fi efectuat de o mașină. *Descrierea* implică existența unui limbaj. Cu un limbaj oarecare *dat* pot fi oare descrise *toate* procesele care în principiu pot fi descrise? Se răspunde afirmativ. Există oare procese care, fiind într-un mod oarecare definite în întregime, nu pot fi totuși descrise? Se răspunde negativ. Se poate afirma că există anumite procese ale căror legături cer transmiterea unor date cu caracter emoțional, care pot fi caracterizate doar intuitiv și care *nu pot* fi determinate exhaustiv printr-un număr oarecare finit de cuvinte? Se răspunde negativ. Există oare procese care *nu pot* fi descrise de nici un limbaj formal, dar pot fi totuși realizate de creierul omului? Se răspunde negativ. Mai departe. Dacă procedeul poate fi realizat cu o mașină oarecare foarte simplă care nu ridică probleme de „inițiativă" sau de „raționalitate", putem fi foarte siguri că procedeul este eficient. Se afirmă însă și inversul acestei teze: *orice procedeu pe care ar fi „natural" să-l numim eficient poate fi de fapt realizat și de o mașină.* De unde toate procesele din creierul uman pot fi realizate și de o mașină. De unde identitatea lor. „Trebuie să subliniem că problemele considerate (*mai sus.* — E.K.) au un caracter subiectiv și că în discutarea lor pot fi folosite doar dovezi și convingeri; aici nu este nimic care ar putea fi *demonstrat.* Pentru a aprecia rezultatele matematice care urmează nu-i obligatoriu să fie acceptate (sau măcar citite) argumentele de mai sus. Cititorul nu trebuie să se lase împiedicat să aprecieze frumusețea teoriei matematice care urmează de faptul că nu are de loc aceleași păreri ca noi fie din considerente intelectuale, fie (ceea ce este mai probabil) din considerente *emoționale*" [1].

Mai rămîne de *arătat* că aceste considerente emoționale pot fi descrise exhaustiv formal, dealtfel de la bun început în însăși afirmarea tezei este inclusă negarea acesteia! Cum nu poate fi vorba de o demonstrație, cu asta sîntem de acord, argumentele aduse trebuie incluse într-o concepție unitară pentru a constitui un bloc. Argumentele înșirate mai sus *constituie într-adevăr un bloc* sprijinit în întregime pe un

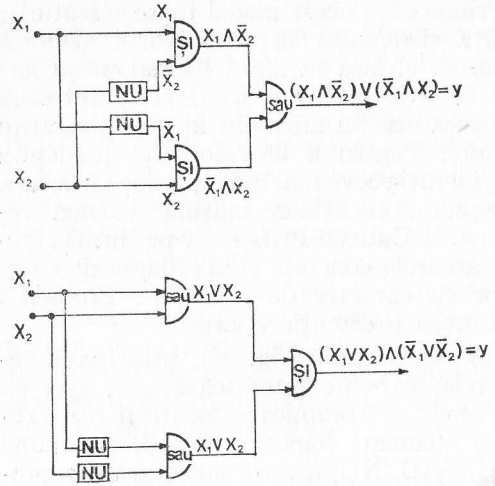
[1] Marvin L. Minsky, *op. cit.*, p. 105 (subl. ns.).

model al creierului. Prinde oare acest model toate trăsăturile esențiale ale activității sistemului nervos? Noi credem că nu; mai mult, credem că el lasă în afară tocmai *esența formației active — aceea de a fi pentru a fi.* O serie întreagă de argumente în favoarea acestei afirmații au fost pregătite în capitolele precedente. Pentru a le valorifica pe deplin trebuie să luăm în considerație ceva mai îndeaproape structura acestor modele — mașina secvențială, mașina Turing, rețeaua de neuroni a lui McCulloch-Pitts — și pe urmă „creierii" artificiali, calculatoarele concrete și abordarea de către acestea a problemelor cu caracter de „creație". Problema emoțiilor *merită* și va avea o discuție aparte.

Revenind la mașina secvențială (fig. 38), principalul rezultat al teoriei acesteia, care ne interesează aici, este că orice expresie logică, oricît de complicată, poate fi realizată din combinarea a trei elemente logice standard, și anume din operațiile logice ȘI, SAU, NU, a căror structură și reprezentare sînt date în tabelul de mai jos:

Logica	ȘI	SAU	NU
Intrarea		Ieșirea	
x_1 x_2	$x_1, x_2 \to \wedge \to y$ $y = x_1 \wedge x_2$	$x_1, x_2 \to \vee \to y$ $y = x_1 \vee x_2$	$x_1 \to \ominus \to y$ $y = \bar{x}_1$
0 0	0	0	1
0 1	0	1	1
1 0	0	1	0
1 1	1	1	0

Intrările pot lua două valori: 1 sau 0, ieșirea de asemenea. După cum se vede din tabel, funcția logică NU inversează intrarea, o neagă, o trece din 0 în 1 sau din 1 în 0. Funcția SAU dă la ieșire 1 dacă *cel puțin* una dintre intrări este 1. Funcția ȘI dă la ieșire 1 dacă și numai dacă ambele intrări sînt 1. Orice funcție logică, oricît de complexă, poate fi redusă la un șir de operații în care intră numai aceste funcții



TABEL de ADEVĂR
$y = x_1 \oplus x$

X_1	X_2	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Fig. 39 — Moduri de realizare a unei rețele care să efectueze funcția „anticoincidență" (funcția „sau exclusiv", „sumă modulo 2").

logice, mai mult, există o mulțime de asemenea șiruri echivalente, în sensul că toate realizează aceeași funcție logică. În *memorie* pot fi incluse funcții speciale, dar, în principiu, orice stare poate fi memorată un timp prestabilit prin închiderea în buclă a unor circuite formate din ȘI, SAU, NU. În figura 39 este arătată în două variante o rețea care dă funcția anticoincidență, des folosită în automate: dacă la ambele intrări ale circuitului de anticoincidență se aplică sau nu se aplică semnale, la ieșire nu se obține semnal, iar dacă la o singură intrare se aplică semnal, se obține semnal; funcția se mai numește SAU EXCLUSIV, sau SUMĂ MODULO 2, și are următorul tabel de adevăr:

intrarea		*ieșirea*
x_1	x_2	$Y = x_1 \oplus x_2$
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Cînd blocul de memorie posedă circuite speciale care memorează starea, avem de-a face cu automate secvențiale. Cînd memorarea este asigurată prin circuite de tip ȘI, SAU, NU și de *întîrziere* [1] sau circuite care efectuează operații mai complexe, combinații de ȘI, SAU și NU, atunci avem rețele de „neuroni"[2] McCulloch-Pitts (fig. 40). O astfel de

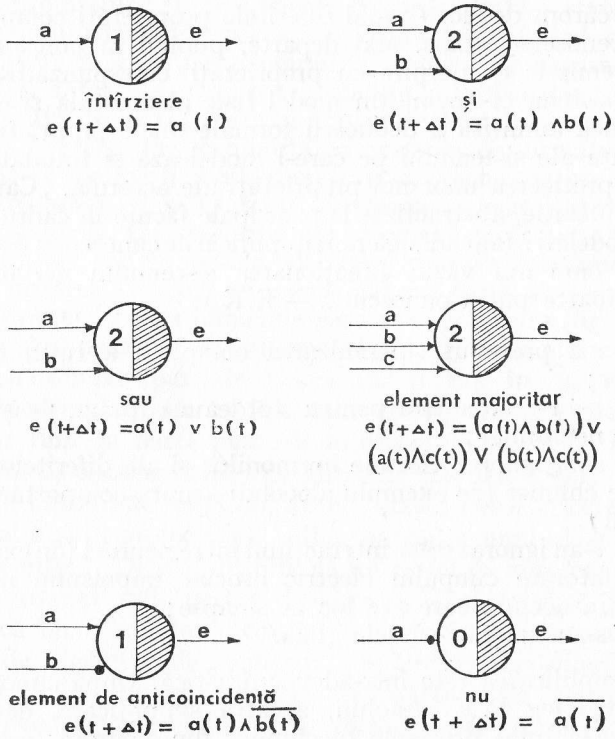


Fig. 40 — Cîțiva „neuroni" McCulloch-Pitts.

rețea este compusă din „neuroni" de diferite tipuri; toți „neuronii" sînt presupuși că lucrează la aceeași scară a timpului, interconectați prin aceea că ieșirile lor („axonii")

[1] Circuitul de întîrziere este cel care reproduce la ieșire semnalul de la intrare cu un tact mai tîrziu.

[2] „Neuronii" lui McCulloch-Pitts reprezintă modele ale neuronilor din creier, în sensul că modelează logica situațiilor, considerînd funcționarea în regim discret.

sînt despicate și reunite în linii la care se cuplează intrările altor neuroni, „dendritele". În felul acesta, o ieșire poate fi cuplată la un număr de intrări, o intrare însă poate proveni de la o singură ieșire. *O astfel de rețea constituie un prim model al creierului.* Conceptul de „rețea de neuroni" are o definire matematică riguroasă și, ca orice model matematic, pornește de la cîteva definiții precise și cîteva axiome, pe baza cărora deduce formal diferitele proprietăți compatibile cu premisele inițiale. Mai departe, punînd în corespondență premisele de pornire cu proprietăți corespunzătoare ale unui sistem, el devine un model fizic al acestuia și explică pe calea amintită a deducerii formale unele proprietăți cunoscute ale sistemului pe care-l modelează și totodată permite prezicerea unor noi proprietăți ale acestuia. „Care sînt simplificările, abstractizările principale făcute în cadrul acestei modelări? (am adăuga noi simplificările cunoscute, deoarece după cum am văzut funcționarea sistemului nervos este încă foarte puțin cunoscută. — E.K.):

a) s-a presupus sincronizarea completă a tuturor neuronilor;

b) s-au fixat odată pentru totdeauna pragurile și ponderile neuronilor;

c) s-au ignorat efectele hormonilor și ale diferitelor substanțe chimice (de exemplu alcoolul) asupra comportării creierului;

d) s-au ignorat orice interacțiuni între neuroni (de exemplu cele datorate cîmpului electric asociat impulsului nervos) în afara aceluia care are loc la sinapse;

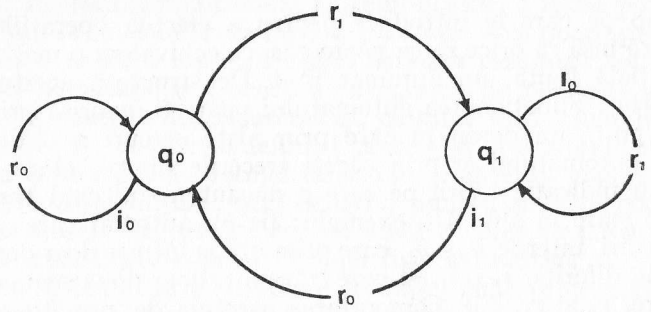
e) s-au ignorat celulele gliale" [1].

Simplificarea este într-adevăr drastică. După cunoscutul neurofiziolog P. K. Anohin, această simplificare, deoarece ignorează total procesele biochimice din neuroni, seamănă cu studiul activității unor fabrici după fumul care iese pe coșuri! Totuși, *acest prim model* permite și el studierea sistemului nervos sub *anumite* aspecte, dar pînă la epuizarea trăsăturilor de bază ale creierului în cadrul unui astfel de model mai este mult. Construirea însă a unei astfel de rețele de neuroni pentru modelarea unor procese cît de cît mai complicate se izbește de mari greutăți, rețeaua devenind extrem de complexă și de ineficientă (în sensul întîrzierilor

[1] Michael A. Arbib, *op. cit.*, p. 7.

în timp pe care le introduce pentru a efectua operațiile). Se arată însă că orice rețea poate găsi ca echivalent o mașină secvențială finită, un automat finit. De structura acestuia am vorbit. Funcționarea automatului poate fi descrisă printr-un graf, un desen în care prin niște cercuri se indică stările automatului și prin săgeți trecerile dintr-o stare în alta, cu indicația ieșirii pe care o dă automatul cînd trece dintr-o stare în alta. Un exemplu: fie un automat care are două stări interne, q_0 și q_1, care primește la intrare doar două semnale diferite, i_0 și i_1, și care transmite doar două semnale la ieșire, r_0 și r_1. Fie comportarea acestuia de următoarea manieră: el rămîne în vechea stare și cu vechea ieșire dacă la intrare apare i_0 și își schimbă starea și ieșirea dacă la intrare apare i_1. Cu un astfel de automat, dacă cunoaștem starea inițială, putem distinge dacă după un timp de funcționare la intrarea sa a fost un *număr par* sau *impar* de semnale i_1, adică putem separa numerele pare de cele impare (fig. 41). Într-adevăr, dacă inițial automatul s-a aflat în starea q_0, după un număr par de i_1 el va fi iar în q_0, însă după un număr impar se va afla în q_1. Pentru fiecare automat finit în parte poate fi întocmit un astfel de graf. Se arată că, dacă un astfel de automat este izolat (nu mai primește informație externă), atunci acesta intră în cele din urmă în funcționare ciclică, adică parcurge unul și același drum la infinit. De aici rezultă că un astfel de automat este într-un anumit sens destul de simplu. Trebuie însă ținut seama că un calculator modern, care conține, să zicem, un milion de elemente, de „neuroni", are $2^{1000000}$ stări diferite (o cifră formată din unu urmat de 300 000 de zerouri!). „Chiar dacă mașina ar lucra cu viteza razelor cosmice, timpul necesar evoluției galacticii ar apărea ca infim în raport cu timpul necesar parcurgerii unui ciclu care ar cuprinde aceste stări" [1]. Cu tot caracterul finit al unor astfel de mașini, posibilitățile lor sînt foarte mari; teoria automatelor finite se ocupă de analiza automatelor (descompunerea unui automat complex în automate mai simple), de sinteza automatelor (constituirea unui automat complex din automate mai simple) și de căile de recunoaștere a automatelor, prin automat înțelegîndu-se mașina care realizează un anumit algoritm.

[1] Marvin L. Minsky, *op. cit.*, p. 25.



STĂRI	$q_0 = 0$	$q_1 = 1$
INTRĂRI	$i_0 = 0$	$i_1 = 1$
IEȘIRI	$r_0 = 0$	$r_1 = 1$

$i(t)$	$q(t+1)$	$q(t)$ = 0	$q(t)$ = 1
0		q_0	q_1
1		q_1	q_0

$i(t)$	$r(t+1)$	$r(t)$ = 0	$r(t)$ = 1
0		0	1
1		1	0

Fig. 41 — Graful automatului care separă numerele pare de cele impare.

Am văzut că un automat cu un număr ceva mai mare de elemente a căror stare determină stările ca un tot ale acestuia ajunge să aibă un număr imens de stări diferite, număr care face practic prohibitivă tratarea automatelor — considerarea procedeurilor eficiente, a algoritmilor, problema calculabilității — pe această cale.

O cale echivalentă o constituie mașina Turing[1]. În esență, în cadrul acestui model se ia în considerare *în fiecare moment numai informația prelucrată nemijlocit în momentul respectiv*, spre deosebire de modelul mașinii secvențiale, unde întreaga informație acumulată este luată în considerare în fiecare

[1] Denumită astfel după A.M. Turing, care a propus în 1936 acest model și care i-a studiat proprietățile generale.

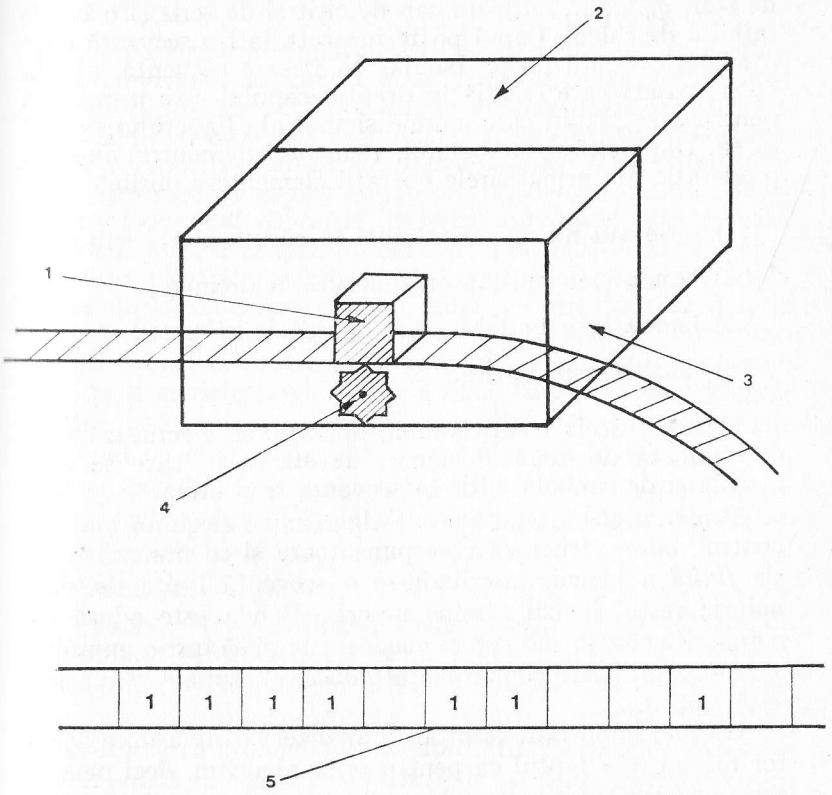


Fig. 42 — Mașina Turing (reprezentare de principiu): *1* — cap de citit și de scris; *2* — mașină secvențială; *3* — unitate de control; *4* — dispozitiv de mutare a benzii; *5* — bandă având alfabetul compus din două semne: 1 și căsuță goală.

moment, restul informației fiind stocată într-o *memorie exterioară* față de dispozitivul propriu-zis de prelucrare a informației. Potrivit acestui model, dispozitivul este compus dintr-o mașină secvențială finită, care are în plus posibilitatea să comunice cu un depozit exterior de informație (fig. 42), depozitul fiind format de o bandă împărțită în căsuțe, în fiecare căsuță putînd sau să fie scrisă o literă din alfabetul folosit, sau să fie lăsat un loc nescris, căsuța nescrisă având și ea semnificație.

Mașina Turing cuprinde în structura sa un bloc de control (o mașină secvențială caracterizată de un număr finit

de stări $q_0, q_1, \ldots, q_n$), un cap de citit și de scris și o bandă infinită de calcul. Capul poate inspecta într-o secvență dată o singură căsuță de pe bandă. În fiecare secvență, căsuța de pe bandă care se află în dreptul capului este inspectată pentru a se stabili care anume simbol al alfabetului se află în ea. După citirea simbolului, elementul de control execută o operație din următoarele operații elementare posibile:

1) scrie sau nu un nou simbol în căsuța aflată sub cap;
2) banda este mutată cu o căsuță la dreapta;
3) banda este mutată cu o căsuță la stînga;
4) mașina este oprită.

Desigur, decizia care anume operație se efectuează este determinată de două elemente: de starea în care se află mașina și de simbolul citit în secvența respectivă.

Pentru a efectua un anumit algoritm se alege un bloc de control cu o structură corespunzătoare și se prepară o fîșie *finită* a benzii, înscriindu-se o secvență finită de simboluri; restul benzii rămîne nescris. Banda este adusă cu o anumită căsuță sub cap și mașina este pusă într-o anumită stare (operații care constituie inițializarea), după care mașina este pornită.

Cel mai important rezultat al analizei făcute asupra acestor mașini este faptul că pentru orice algoritm, deci pentru orice problemă formalizabilă care poate fi rezolvată într-un număr *finit* de pași, *se poate găsi un bloc de control, adică o mașină Turing, care să rezolve algoritmul respectiv, efectuînd numai operațiile de mai sus:* citește un simbol, scrie un simbol, un pas la stînga, un pas la dreapta, stop. Mai mult, o teoremă a lui Shannon arată că pentru orice problemă se poate găsi întotdeauna o mașină care să lucreze cu un alfabet compus numai din *1* și *0*! Repetăm: oricît ar fi de complicat algoritmul, oricît ar fi de complicată problema, ea poate fi rezolvată folosind numai operațiile elementare de mai sus. Pentru orice problemă formalizabilă există cel puțin o mașină Turing care s-o rezolve. În plus, se arată că există o *mașină universală Turing*, care poate calcula, îndeplinită fiind o anumită condiție, *orice problemă* pe care o poate calcula o mașină

Turing particulară. Condiția este următoarea: pe banda mașinii universale se înscriu *două porțiuni, două fîșii finite*; pe una dintre aceste fîșii finite se înscriu *datele inițiale*, iar pe cealaltă descrierea modului în care trebuie prelucrate datele respective, adică *descrierea mașinii Turing particulare* care rezolvă algoritmul respectiv, descriere care se numește *programul de calcul*. Mașina universală este așezată întîi cu capul deasupra primei date din șirul de date și apoi pornită. Potrivit structurii sale, mașina citește prima dată și se deplasează spre prima căsuță a fîșiei unde se descrie cum trebuie prelucrate datele; efectuînd operația corespunzătoare, mașina revine în a doua căsuță a zonei datelor, o citește și se redeplasează spre a doua căsuță a zonei programului, unde găsește indicația cu privire la ce anume trebuie efectuat cu data respectivă. În felul acesta mașina parcurge pas cu pas datele și programul — mașina Turing particulară — și efectuează asupra datelor operațiile indicate de mașina Turing particulară.

Două observații.

Prima: datorită, poate, tocmai caracterului extrem de simplificat (abstractizat!) al mașinilor Turing, din analiza structurii acestora au putut fi deduse o serie de relații fundamentale implicate în procesul efectuării calculelor, în primul rînd studierea problemei calculabilității. Pe *interpretarea acestor rezultate se bazează în principal șirul de raționamente pe care l-am amintit mai înainte și care conduce la concluzia „identificării" creierului cu o mașină Turing și implicit a creierului uman cu creierii artificiali.* Acesta este motivul pentru care am relatat cele cîteva elemente referitoare la mașina Turing — pentru a da cititorului posibilitatea să remarce puternica abstractizare pe care o reprezintă mașina Turing. În această abstractizare rezidă atît „forța" mașinii Turing, aceea de a permite stabilirea unor relații foarte generale referitoare la problemele formalizabile, cît și „slăbiciunea" acesteia, gradul redus de adecvare ca model pentru activitatea multilaterală a unui creier real dintr-o formație activă reală.

A doua: practic, un calculator construit ca mașină Turing ar fi extrem de ineficient în sensul timpului efectiv necesar pentru rezolvarea unei probleme concrete, datorită timpului

enorm pe care l-ar cere pentru efectuarea calculelor, timp consumat în principal de plimbarea pas cu pas, de nenumărate ori repetată, deasupra porțiunilor din bandă care conțin informația necesară efectuării calculului. Calculatoarele reale, deși echivalente cu o mașină Turing, sînt astfel construite, încît asigură viteza de calcul necesară. Înainte de a trece la descrierea acestora vrem să mai menționăm un lucru: mașina Turing are o bandă infinită, deci teoretic o memorie infinită. Orice calculator real are însă o memorie finită; deci pe un calculator real pot fi efectuate numai problemele pentru care memoria sa este suficientă, care încap — program plus date plus rezultate — în memoria respectivă.

Să trecem acum și să prezentăm structura și modul de funcționare a unui calculator electronic universal, a unui creier artificial. Schema de principiu a oricărei mașini de calcule electronice cifrice universale (adică nespecializată pe un tip de problemă, ci capabilă să rezolve diferite probleme în conformitate cu programul introdus) este arătată în figura 43. După cum se vede din figură, calculatorul este compus

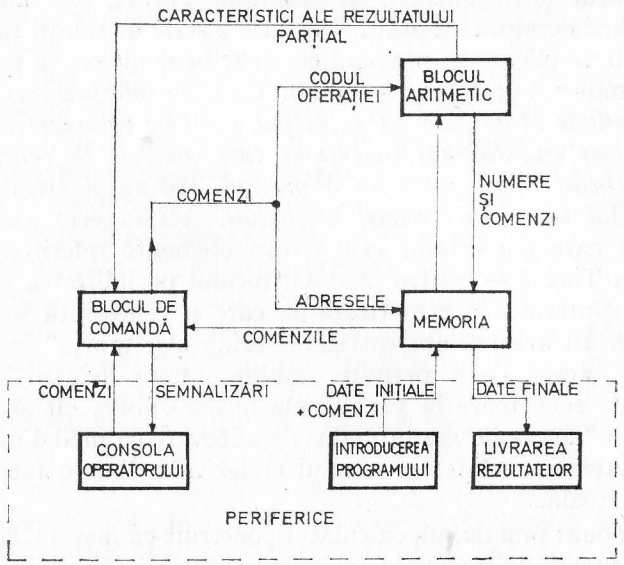


Fig. 43 — Structura unui calculator electronic universal.

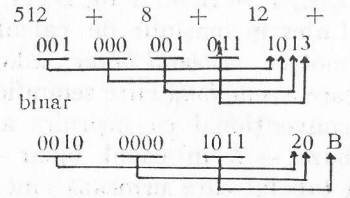
din patru mari unități: „blocul aritmetic", în care se efectuează operațiile asupra numerelor; „memoria", blocul în care se depun, se păstrează și de unde se iau numerele necesare; „blocul de comandă" sau unitatea de control, procesorul care dirijează funcționarea automată a mașinii; în fine, „perifericele", instalațiile de „introducere" a datelor, de „livrare" a datelor și de „interacțiune" a operatorului cu mașina.

Pentru a explica funcționarea blocului aritmetic este necesară în prealabil prezentarea sistemelor de numerație. În prezent, majoritatea oamenilor numără în sistemul zecimal, adică orice număr se scrie notînd de la stînga la dreapta coeficienții puterilor descrescătoare ale bazei *10*, avînd pentru aceasta zece cifre semnificative de la *0* la *9*. Un exemplu: 523 este de fapt scrierea convențională a sumei:

$$5 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0 = 500 + 20 + 3 = 523.$$

Numerele pot fi însă scrise luîndu-se drept bază orice alt număr, de exemplu 8 (sistemul octal) sau 16 (sistem hexazecimal). În primul caz avem nevoie de *opt* cifre semnificative, de la 0 la 7, în al doilea de *șaisprezece* cifre semnificative, de la 0 la 9, și, în plus, alte șase, notate, de regulă convențional cu A, B, C, D, E, F — A fiind 10, B -11, C-12, D-13, E-14, F-15. Sistemul ales în mașinile de calcul este, dintr-o serie întreagă de motive, *sistemul binar*, adică sistemul în baza 2, sistem în care avem *două* cifre semnificative, *0* și *1*. Numărul se scrie convențional ca înșiruire a coeficienților sumei puterilor bazei — 2 în cazul binar — care dau numărul respectiv. În tabelul care urmează sînt scrise cîteva numere în zecimal, binar, octal și hexazecimal, explicitarea modului de alegere a coeficienților fiind făcută numai pentru sistemul binar. Pentru sistemul *octal* se scriu coeficienții sumei puterilor lui 8, iar pentru cel *hexazecimal* a sumei puterilor lui 16 care dau numărul respectiv. După cum se vede din tabel, trecerea de la sistemul binar la cel octal și hexazecimal este extrem de simplă. Un număr scris în binar trece în octal dacă se citesc în binar grupe de cîte trei biți, ca semnificînd coeficienții în octal, respectiv în hexazecimal dacă se citesc grupe de cîte patru biți.

zecimal	*binar desfășurat*	*binar*	*octal*	*hexa-zecimal*
0	0×2^0	0	0	0
1	1×2^0	1	1	1
2	$1\times2^1+0\times2^0$	10	2	2
3	$1\times2^1+1\times2^0$	11	3	3
4	$1\times2^2+0\times2^1+0\times2^0$	100	4	4
5	$1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$	101	5	5
6	$1\times2^2+1\times2^1+0\times2^0$	110	6	6
7	$1\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$	111	7	7
8	$1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+0\times2^0$	1000	10	8
9	$1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$	1001	11	9
10	$1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+0\times2^0$	1010	12	A
11	$1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$	1011	13	B
12	$1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+0\times2^0$	1100	14	C
13	$1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$	1101	15	D
14	$1\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+0\times2^0$	1110	16	E
15	$1\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$	1111	17	F
16	$1\times2^4+0\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+0\times2^0$	10000	20	10
19	$1\times2^4+0\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$	10011	23	13
20	$1\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+0\times2^0$	10100	24	14
25	$1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$	11001	31	19
28	$1\times2^4+1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+0\times2^0$	11100	34	1C
523	$1\times2^9+\ldots+1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$	1000001011	1013	20B



Din tabel se vede că numerele scrise în sistemul binar sînt mai lungi (numărul cifrelor în sistemul binar este de circa trei ori mai mare ca în cel zecimal; în octal este cu circa 10% mai *mare*, în hexazecimal cu circa 10% mai *mic*). Sistemele octale și hexazecimale sînt folosite pentru că permit o scriere concisă și ușoară pe hîrtie și o conversie foarte simplă în și din sistemul binar, calculatorul electronic lucrînd, de regulă, în sistem binar. Aceasta se explică prin faptul că fiecare cifră în sistemul binar poate fi implementată fizic de orice element care posedă două stări stabile, da (1) sau nu (0): fie el gaură perforată (1) sau neperforată (0), releu

(contact) închis (1) sau deschis (0), lampă electrică sau tranzistor prin care trece curent (1) sau nu trece (blocat = 0). Elementul de bază al mașinii electronice de calcul este așazisul „releu electronic", numit și „circuit binar" sau „circuit bistabil". Acest circuit se caracterizează prin aceea că are două poziții, două stări stabile posibile, numite convențional *da-nu* sau *unu-zero*; el este format din doi tranzistori astfel cuplați între ei, încît, dacă unul conduce curent electric, celălalt este automat blocat și invers. La o comandă, în circuit se desfășoară un proces de comutare a stării, și anume de blocare a tranzistorului care conducea și de intrare în conducție a tranzistorului înainte blocat, adică, drept urmare a unei comenzi, circuitul trece din starea *0* în *1* sau din *1* în *0* (aceasta este comanda de inversare a stării; circuitul poate fi însă comandat să intre într-o stare prescrisă, în *1* sau în *0*, indiferent de starea precedentă). Un grup de astfel de circuite bistabile formează un *registru* (fig. 44); starea circuitelor implementează fizic numărul respectiv (de exemplu $25_{10} = 11001_2$) [1]. Cînd tranzistorii care compun registrul constituie fiecare piesă separată, se spune că circuitul (aparatul) este asamblat din componente discrete. Cînd un număr de tranzistori și piesele de legătură respective sînt realizate prin diferite procese tehnologice în unul și același monocristal semiconductor, se spune că circuitul este integrat monolitic:

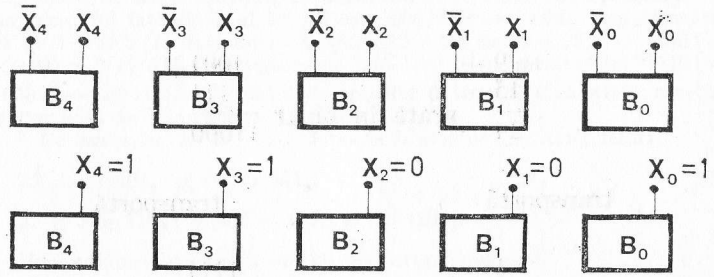


Fig. 44 — Structura unui registru și implementarea unui număr de către acesta. Cînd $x_i = 0$, $\bar{x}_i = 1$ și invers, cînd $x_i = 1$, $\bar{x}_i = 0$. Implementarea numărului $25_{10} = 11001_2$.

la *scară mică* dacă într-un „integrat" sînt incluse pînă la circa zece, la *scară medie* dacă sînt incluse zeci pînă la sute

[1] Cifra scrisă în dreapta jos indică baza în care este scris numărul.

de circuite elementare, inclusiv legăturile dintre ele, și la *scară mare* dacă numărul circuitelor elementare integrate în același cristal ajunge să fie de ordinul miilor.

Revenind la blocul aritmetic, acesta este compus, de regulă, din mai multe registre, așa-numitele registre de lucru, și din circuite care permit efectuarea operațiilor adunării, scăderii, înmulțirii și împărțirii asupra numerelor scrise în registre. (A scrie un număr într-un registru înseamnă a pune bistabilii respectivi în stările 1 sau 0, potrivit configurației numărului — pentru 25 primul, socotind de la dreapta spre stînga, pe *1*, următoarele două pe *0*, următoarele două pe *1*, iar restul circuitelor pe *0* —, numărul total al circuitelor bistabile din registru reprezentînd numărul maxim de cifre semnificative ale unui număr care mai poate fi înscris, care mai „intră" în registru).

Operația adunării se efectuează după regula adunării, care pentru numere binare este foarte simplă:

$0 + 0 = 0$, $0 + 1 = 1$, $1 + 0 = 1$, $1 + 1 = 0$ și transportă, „ține", 1.

Astfel,

$$\begin{array}{r} 9 + \\ 15 \\ \hline 24 \end{array} \quad \text{arată în binar} \quad \begin{array}{r} 1001 + \\ 1111 \\ \hline 11000 \end{array}$$

transportă — transportă

1 — 1111

Scăderea se efectuează ca adunare a complementului față de 2, adică, dacă din 24 trebuie scăzut 9, se procedează astfel: se înscrie în registru $9 \rightarrow 1001$; se complementează față de 1, adică se inversează toți biții — $1001 \rightarrow 0110$; se complementează față de 2, adică se adună la complementul față de 1 încă un 1, $0110 + 1 = 0111$; numărul astfel obținut se

adună la 24 și se lasă deoparte bitul de rangul cel mai mare care este 1^1:

$$\begin{array}{r} 11000 + \\ 0111 \\ \hline 11111 \end{array} \quad \begin{array}{r} 24 \\ 9 \\ \hline 15 \end{array} \text{ complementat}$$

Înmulțirea și împărțirea se pot face fie ca adunare repetată, fie ca scădere repetată, fie, în fine, după reguli asemănătoare celor folosite curent în înmulțirea și împărțirea numerelor zecimale, tabla înmulțirii a numerelor binare fiind însă mult mai simplă: $0 \times 0 = 0$, $0 \times 1 = 0$, $1 \times 0 = 0$, $1 \times 1 = 1$![2]

Rezumînd, blocul aritmetic efectuează operația care i se indică asupra numerelor înscrise în registrele sale, într-unul din registre fiind obținut rezultatul (numit, de regulă, registrul „acumulator").

Numerele sînt aduse în registrele blocului aritmetic din blocul de memorie. De regulă, memoria este compusă dintr-o unitate de capacitate relativ redusă și cu timp de acces foarte scurt, precum și din unități de capacitate mare și acces lent. Unitatea rapidă este împărțită în *adrese*, fiecărei adrese corespunzîndu-i un registru cu un număr de biți, un *cuvînt*

---

[1] Bitul de rangul cel mai mare — transferul, transportul — are semnificație de semn. Într-adevăr, dacă din 25 se scade 28, se obține — 3! Complementul față de 2 al lui 28 este 00011 ($28 \rightarrow 11100$, complementul față de $1 \rightarrow 00011$; față de $2 \rightarrow 00100$, $25 - 28 = 25 + 28_{c_2} = 11001 + 00100 = 0|11101$. Complementul față de 2 al rezultatului $11101 \rightarrow 00010 \rightarrow 00011$ este 3! Bitul de transfer 0 semnifică că avem rezultat negativ scris în complement față de 2.

[2] De exemplu, $25 \times 5 = 125$ poate fi efectuat în două feluri:

$25_{10} = 11001_2$ și $5_{10} = 101_2$;

$25 \times 5 = 11001 \times 101 = 125_{10} = 1111101_2$.

Prin adunare succesivă sau cu algoritmul cunoscut:

$$\begin{array}{r} 11001 + 1 \\ 11001 \quad 2 \\ \hline 110010 + \\ 11001 \quad 3 \\ \hline 1001011 + \\ 11001 \quad 4 \\ \hline 1100100 + \\ 11001 \quad 5 \\ \hline 1111101 \rightarrow 125_{10} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 11001 \times 101 \\ \hline 11001 \\ 00000 \\ 11001 \\ \hline 1111101 \rightarrow 125_{10} \end{array}$$

de o lungime dată (lungimea cuvîntului putînd fi de 8, 12, 16, 24, 32, 64 biți etc.). Dacă memoria are o mie de adrese se spune că are 1 K, un kilocuvinte; dacă are 8 mii de adrese, 8 K. Timpul de acces la memoriile moderne, adică timpul necesar selectării unei adrese, unui cuvînt și citirea sau scrierea la adresa respectivă a conținutului este de ordinul fracțiunii de microsecundă. Aceste memorii sînt realizate fizic fie cu toruri de ferită, fie integrate în cristale semiconductoare. La *indicarea adresei* — ceea ce revine la *activarea unor căi* de curent — și la o *comandă* corespunzătoare în circuitele selectate, în *adresa respectivă* fie se scrie, fie se citește un număr. Memoriile de mare capacitate sînt realizate pe discuri și pe benzi magnetice, care pot înregistra milioane sau zeci de milioane de cuvinte. În cursul efectuării calculelor, numerele înscrise în memoria de mare capacitate, care urmează să fie folosite ulterior, sînt aduse, de regulă, în prealabil în memoria operativă, căutarea adreselor respectivelor numere (care consumă mult timp, de ordinul secundelor) făcîndu-se *în paralel* cu alte operații (în felul acesta accesul la memoriile de mare capacitate nu grevează asupra bugetului general de timp necesar efectuării unui program [1]). Memoria este, în esență, un „organ" pasiv: înregistrează ce i se spune și livrează ce i se cere din cele înregistrate. Înregistrarea și livrarea sînt de două feluri: *de la* sau *înspre* periferie, prin care se introduc în mașină programul, șirul instrucțiunilor de efectuat, și datele, numerele asupra cărora urmează să se efectueze instrucțiunile, sau se scot din mașină, sub formă tipărită ori desenată, rezultatele efectuării calculelor sau a comenzilor de dirijare în cazul în care calculatorul dirijează direct funcționarea unei instalații.

[1] Dacă rezolvarea unui program cere aducerea unor mari blocuri de date din memoriile de mare capacitate, s-ar putea ca timpul necesar aducerii acestora să depășească timpul pe care-l necesită celelalte blocuri pentru efectuarea programului pînă în punctul în care sînt necesare datele respective. În acest caz, fără a se lua măsuri, calculatorul ar aștepta primirea datelor „lenevind"; pentru a se evita această situație și a exploata rațional calculatorul, acesta lucrează *în paralel* diferite părți ale unei instrucțiuni, grupe de instrucțiuni și mai departe mai multe programe în paralel în așa-numitul mod „timp partajat" (*time sharing*). Desigur, pentru a lucra în acest mod este nevoie de o unitate centrală care să coordoneze acțiunile, la trecerea de la un program la altul fiind necesară „salvarea" unor date, a ultimelor rezultate parțiale obținute a adresei instrucțiunii următoare a programului salvat. Revenind la programul respectiv, unitatea centrală readuce în blocul aritmetic ultimele rezultate parțiale și, de la adresa respectivă, ia instrucțiunea la rînd.

Întregul proces de calcul este dirijat de blocul de comandă, de unitatea de control, sau de procesor, cum i se mai spune. Procesul decurge în felul următor. În memorie se introduc comenzile, *reprezentate simbolic tot prin numere*, programatorul fixînd adresele din memorie în care sînt înscrise comenzile. În alte adrese, de asemenea fixate de programator, sînt introduse datele, în general și acestea avînd un format compus, *o parte a cuvîntului reprezentînd simbolic „mărimea"* despre care este vorba, iar cealaltă parte *numărul propriu-zis*, care este *valoarea* pe care o ia mărimea respectivă (în particular se pot aranja lucrurile în așa fel, încît o anumită mărime să se găsească în anumite adrese, astfel că în acest caz adresa simbolizează direct mărimea, iar conținutul adresei valoarea mărimii). În continuare se inițializează unitatea de control, adică se pune în situația de a citi prima adresă în care este amplasată prima instrucțiune. Se pornește mașina. Procesorul citește instrucțiunile din adresa respectivă și comandă executarea ei: de exemplu, să fie luat numărul din adresa *A* și adunat cu numărul din adresa *B*, iar rezultatul depus în registrul cutare sau înscris în altă adresă etc. După efectuarea operației, procesorul se adresează memoriei și citește următoarea instrucțiune, pe care, la rîndul ei, o execută. Și așa mai departe. Un tip deosebit de important de instrucțiune *este cea de alegere a drumului de urmat, în funcție de rezultatul parțial obținut*, adică instrucțiunea condiționată. Caracteristica rezultatului parțial obținut este trimisă procesorului care o *interpretează*, alege instrucțiunea următoare de la o adresă sau de la alta în funcție de această caracteristică. Astfel, la comanda „compară aritmetic două numere", blocul aritmetic scade un număr din altul și răspunde procesorului că al doilea număr, cel pe care-l scade, este mai mare, egal sau mai mic decît primul număr; în funcție de situație, procesorul alege în mod diferit comanda următoare. În felul acesta se realizează *o reacție inversă* de la *blocul aritmetic* (care execută comenzile) la *blocul de comandă* (care selectează comenzile), obținîndu-se un circuit închis. Se obține astfel *autoorganizarea procesului de calcul*. Mai mult. După cum spuneam, instrucțiunile se introduc în mașină tot sub formă de numere. Cum mașina operează asupra numerelor, modificîndu-le conform regulilor indicate în instrucțiuni, înseamnă că ea poate opera și asupra numerelor care reprezintă înseși instrucțiunile, modificînd o instrucțiune conform unei alte instrucțiuni, adică *calculatorul poate executa și operații logice*.

Trebuie să subliniem aici încă o dată că procesul de informație elementară are caracterul de alegere între *da* și *nu*: întrucît mașina de calcul execută un șir de operații mecanice *da* sau *nu* (toate numerele reprezentînd în sistemul binar un șir de cifre *1* și *0*), *orice operație asupra unui număr se reduce la a modifica, în unele poziții din configurația numerelor, pe 1 în 0 sau invers*. Pe de altă parte, la baza logicii formale stă *principiul terțului exclus*: o afirmație poate fi sau *adevărată* sau *falsă*, adică sau *da* sau *nu*. Prin urmare, dacă cifrele reprezintă simbolic afirmații (da = 1) sau negații (nu = 0), raționamentul logic formal poate fi mecanizat, operînd asupra cifrelor care-l simbolizează. Am văzut, pe de altă parte, că orice expresie formală, oricît de complexă ar fi, poate fi redusă la o succesiune formată din trei legături de bază: **ȘI**, SAU, NU. Aceste legături sînt ușor implementate fizic cu ajutorul unor circuite electronice elementare (în figura 45 se poate urmări realizarea funcțiilor respective). Grupînd un număr de astfel de circuite, se poate realiza o operație logică mai complexă. Procesorul interpretează comanda cu ajutorul unor astfel de circuite și tot cu ajutorul unor astfel de circuite elaborează trimiterile necesare spre memorie, bloc aritmetic etc.[1]

Pentru a urmări ceva mai îndeaproape modul de lucru al mașinilor de calcul, să considerăm o mașină de calcul care ar avea un cuvînt cu o lungime de 10 cifre zecimale; pentru ușurință vom scrie toate numerele în sistem zecimal (mașina de calcul convertește automat datele din sistemul zecimal în care acestea se introduc în sistemul în care lucrează mașina: binar, octal etc.). Ca urmare, în modul acesta de scriere un registru din memorie are zece cifre semnificative, notate precum urmează:

miliarde				milioane	sute mii	zeci mii	mii	sute	zeci	unități
bit semn	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
40		36	32	28	24	20	16	12	8	4

biți

[1] Există și altfel de funcții, respectiv circuite, din combinarea cărora se poate efectua șirul operațiilor logice. Ele prezintă în unele cazuri avantaje practice, însă teoretic se reduc la funcții formate din tripletul ȘI, SAU, NU.

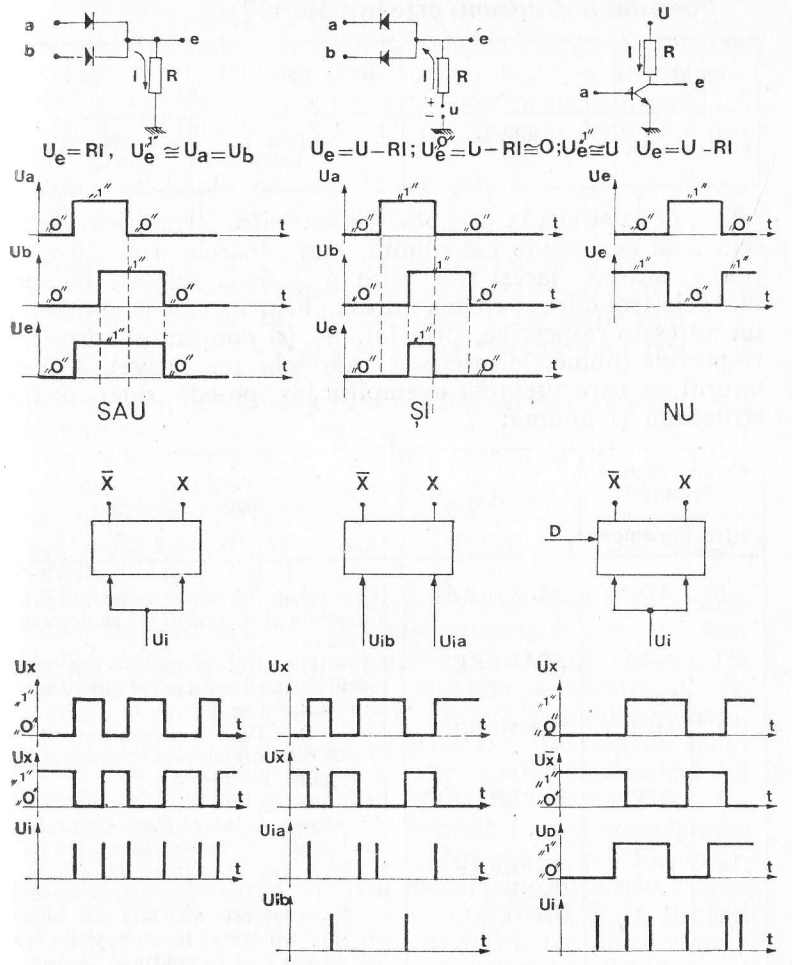


Fig. 45 — Moduri de implementare a diferitelor funcții logice.

Datele sînt înscrise în calculatorul pe care-l luăm drept exemplu ca numere întregi, pozitive sau negative, pentru semn fiind utilizat un bit special, situat în extrema stîngă (așezarea acestuia pe *0* semnifică număr pozitiv, pe *1* număr negativ).

Formatul instrucțiunii este următorul [1]:

10	9 8 7	6 5 4	3 2 1
cod operație	adresa a	adresa b	adresa c

adică, de la stînga la dreapta, prima cifră semnifică codul operației ce trebuie îndeplinită, următoarele trei cifre o primă adresă, iarăși trei cifre o a doua adresă, în fine ultimele trei cifre o a treia adresă. Prin *a*, *b*, *c* vom desemna adresele respective, prin (*a*), (*b*), (*c*) conținutul adreselor respective (numerele înscrise la adresele respective). Calculatorul cu care vrem să exemplificăm posedă doar 6 instrucțiuni și anume:

Codul instrucțiunii		Operația	Explicarea operației
cifric	mnemonic		
0	ADD	ADUNARE	(c) = (a) + (b), adună numerele din adresele a și b; rezultatul se depune în adresa c.
1	SUB	SCĂDERE	(c) = (a) − (b), se scade din numărul de la adresa a pe cel din adresa b; rezultatul se depune în adresa c.
2	MUL	ÎNMULȚIRE	(c) = (a) × (b), se înmulțesc numerele din adresele a și b; rezultatul se depune în adresa c.
3	DIV	ÎMPĂRȚIRE	(c) = (a):(b), se împarte numărul din adresa a la cel din adresa b; rezultatul se depune în adresa c.
4	IF	TRECERE CONDIȚIONATĂ	1. Dacă (a) mai mare ca (b) se trece la instrucțiunea următoare: 2. Dacă (a) este mai mic sau egal cu (b), se trece la instrucțiunea din adresa c și se continuă la rînd.
5	TIP	TIPĂREȘTE	Se tipărește conținutul adresei a.
6	STOP	OPRIRE	Se oprește calculul.

[1] Marea, enorma majoritate a calculatoarelor electronice universale lucrează cu formate de instrucțiuni care, pe lîngă codul operației, cuprind doar o singură adresă. Aceasta se răsfrînge asupra structurii procesorului și a programelor, dar nu schimbă cu nimic principial modul de lucru. În schimb, ilustrarea modului de lucru este mult mai simplă pe un calculator cu formatul de instrucțiune pe care l-am ales.

Să urmărim două exemple, extrem de simple, de folosire a unui astfel de calculator (rudimentar) pentru a ilustra modul de lucru al acestuia și a pune în evidență acele proprietăți care fac din el un instrument atît de puternic, încît este denumit „creier electronic".

Primul exemplu pe care îl considerăm este calcularea valorii unui polinom, și anume:

$$P_n(x) = 1 + 2x + 3x^2 + \ldots + nx^{n-1} + (n+1)\,x^n,$$

unde x și n sînt două numere întregi pozitive oarecare (bineînțeles x și n trebuie să fie astfel încît $P_n(x)$ să fie mai mic sau cel mult egal cu N_{max}, numărul maxim care poate fi înregistrat într-un cuvînt din memorie) [1].

Ideea calculului constă în a calcula pe rînd termenii polinomului de la cei mai mici spre cei mai mari, întîi a_0x^0 egal în cazul nostru cu 1, pe urmă a_1x^1, a_2x^2 pînă la a_nx^n, și a aduna termenul nou calculat la suma precedenților termeni, obținînd pe rînd $P_0(x) = a_0x^0 = 1$, $P_1(x) = P_0(x) + a_1x^1$, $P_2(x) = P_1(x) + a_2x^2 \ldots P_k(x) = P_{k-1}(x) + a_kx^k$ (se vede că $a_k = k + 1$, $a_0 = 1$, $a_n = n + 1$).

Calculul va trebui oprit automat atunci cînd k va ajunge să aibă valoarea maximă prescrisă, anume $k = n$, sau *înainte* dacă, neapreciind bine valorile, riscăm să depășim la un $P_k(x)$ oarecare capacitatea maximă a cuvîntului. În acest caz, continuarea calculelor ducînd la valori eronate, vom opri calculul și vom semnala *eroare*, tipărind un semn convențional. Desfășurarea logică, schematizată a calculului este arătată în *organigramă* (fig. 46), care reprezintă schema logică de organizare a calculului. Potrivit acestei organigrame se întocmește *programul* de calcul (programul I, p. 255), în cadrul căruia se specifică ordinea operațiilor, numerele asupra cărora se efectuează operațiile; fiecărei instrucțiuni, fiecărei date inițiale și fiecărui rezultat parțial li se indică adresa din memorie la care trebuie găsite sau depuse. Pentru prescurtare, instrucțiunea sau data care se găsește la o adresă oarecare, să zicem 004, o vom denumi instrucțiunea sau data 004.

Să descriem funcționarea programului. Inițial în adresa *015* avem valoarea inițială $a_0 = 1$, iar în *016* valoarea $x^0 = 1$.

[1] În cazul în care numerele sînt mai mari decît lungimea cuvîntului, putem folosi pentru un număr două cuvinte, ajungînd să zicem de la miliarde la miliarde de miliarde! Pentru simplitate nu vom considera asemenea situații.

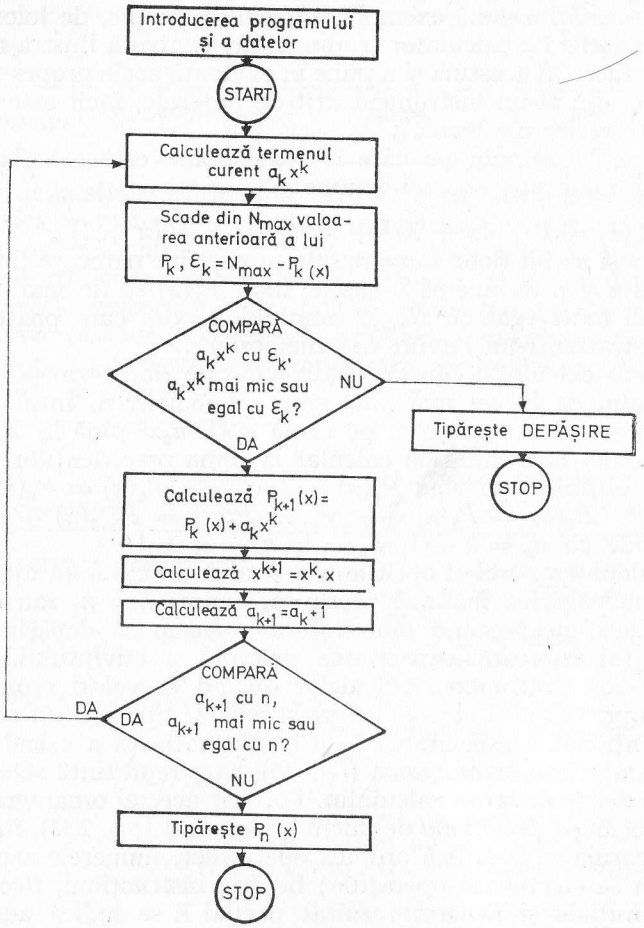


Fig. 46 — Organigrama calculării polinomului:
$P_n(x) = 1 + 2x + 3x^2 + \ldots + nx^{n-1} + (n+1)\,x^n$.

Prima instrucțiune, 001, efectuează calculul termenului curent $a_k x^k$ (prima oară $a_0 x^0 = 1 \cdot 1 = 1$). A doua instrucțiune, 002, calculează rezerva de capacitate a registrului ε_k, adică scade din numărul maxim admisibil, înscris în prealabil în adresa 023, valoarea anterioară a lui $P(x)$, $P_k(x)$, aflată la adresa *017* (în *017* inițial s-a introdus zero). Instrucțiunea următoare, 003, compară termenul care urmează să

fie adunat, $a_k x^k$, cu ε_k. Dacă $a_k x^k$ este mai mic sau egal cu ε_k, calculul poate continua, deoarece prin adunarea lui $a_k x^k$ la $P_{k-1}(x)$ nu vom depăși capacitatea registrului, ceea ce se și face sărind la instrucțiunea 006, pe care o scriem în adresa c a instrucțiunii 003. Dacă $a_k x^k$ este însă mai mare ca ε_k, următoarea instrucțiune 004 hotărăște tipărirea cuvîntului înscris la adresa 024, DEPĂȘIRE (simbolizat, bineînțeles, printr-un număr). Deci, după cum am obținut rezultatul parțial din efectuarea instrucțiunii 003, se continuă cu instrucțiunile 004, 005 sau se trece la instrucțiunile 006, 007 etc. Prin urmare, *calculatorul alege singur la un moment dat calea de urmat, după rezultatul parțial obținut; programatorul care nu cunoaște dinainte, concret, rezultatul parțial, dar care știe ce va fi de făcut dacă rezultatul parțial va fi de un fel sau altul, indică condiționat calea de urmat.* Dacă valorile lui x și n sînt corespunzător date, calculul continuă cu instrucțiunea 006, calculul lui $P_{k+1}(x) = P_k(x) + a_k x^k$; 007, calculul puterii următoare a lui x, $x^{k+1} = x \cdot x^k$; 008, calculul coeficientului următor, $a_{k+1} = a_k + 1$. După calcularea coeficientului, trebuie să verificăm dacă nu am ajuns la coeficientul $a_n = n + 1$, cu care calculul trebuie încheiat. Instrucțiunea 009 comandă compararea lui a_{k+1} cu n și *reluarea* calculelor de la instrucțiunea 001 dacă $a_{k+1} \leqslant n$ și trecerea la instrucțiunile 010, 011 care comandă tipărirea rezultatului și oprirea calculului dacă $a_{k+1} > n$. În felul acesta, *calculul se autoorganizează*, procesorul hotărînd oprirea calculului în momentul cînd acesta ajunge la limita prefixată.

Din acest exemplu extrem de simplu se vede că mașina de calcul poate executa un număr mare de operații folosind doar 6 instrucțiuni și 21 de adrese, executarea calculului durînd un timp infim dacă luăm în considerare că timpul mediu pentru executarea unei instrucțiuni este de ordinul milionimii de secundă, sau chiar mai mic.

Posibilitățile logice ale mașinii sînt mult mai mari, ceea ce se poate întrezări din al doilea exemplu, tot foarte simplu: calcularea unui polinom ai cărui coeficienți nu pot fi dați prin vreo formulă oarecare; fie

$$P_n(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_{n-1} x^{n-1} + a_n x^n.$$

Să calculăm $P_n(x)$ pentru x, n, a_0, a_1, ..., a_{n-1}, a_n dați. Organigrama este dată în figura 47, iar programul în tabelul din pagina 256.

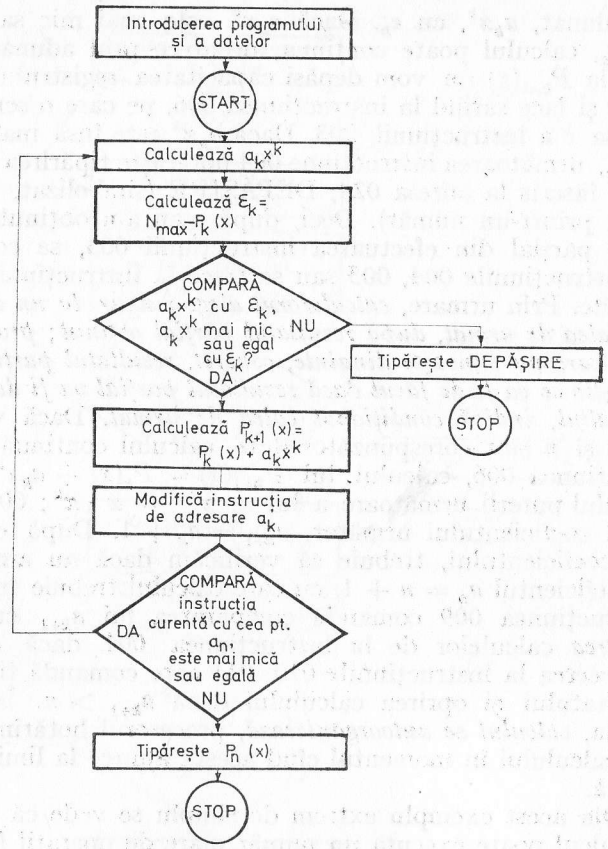


Fig. 47 — Organigrama calculării polinomului

$$P_n(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_{n-1} x^{n-1} + a_n x^n.$$

Acest de al doilea program este în linii mari asemănător cu primul. Deosebirea principală constă în introducerea instrucțiunii 008, cu ajutorul căreia se obține *modificarea automată a instrucțiunii* 001, care comandă calcularea termenului curent al polinomului. Coeficienții polinomului, a_0, a_1,..., a_n sînt dați sub forma unui tabel și sînt depuși în memorie la adresele 021, 022, 02(1+n). Pentru a folosi de fiecare dată coeficientul corespunzător, prima adresă din instrucțiunea 001, care indică adresa de la care se ia a_k, se modifică cu ajutorul instrucțiunii 008 și a numărului de la adresa

	Adresa cuvîntului	Conținutul cuvîntului	Observații
INSTRUCȚIUNI	001	2 015 016 018	Calculul termenului curent $a_k x^k$ (înmulțește (2!) cuvîntul de la 015 cu cel de la 016 și depune rezultatul la 018!).
	002	1 023 017 019	Calculul restului pînă la umplerea registrului, $\varepsilon_k = N_{max} - P_k(x)$, cu $\varepsilon_0 = N_{max}$ și $P_0(x) = 0$.
	003	4 018 019 006	Compară restul cu noul termen $a_k x^k$ — determinarea erorii de depășire a capacității
	004	5 024 000 000	Se tipărește DEPĂȘIRE
	005	6 000 000 000	Oprirea calculului
	006	0 018 017 017	Calculul polinomului $P_{k+1}(x) = a_k x^k + P_k(x)$
	007	2 022 016 016	Calculul puterii curente a lui x, $x^{k+1} = x \cdot x^k$
	008	0 020 015 015	Calculul coeficientului curent, $a_{k+1} = a_k + 1$
	009	4 015 021 001	Compararea lui a_{k+1} cu n — determinarea sfîrșitului calculului
	010	5 017 000 000	Tipărirea rezultatului
	011	6 000 000 000	Oprirea calculului
DATE	*015*	0 000 000 001	Coeficientul a_k; valoarea inițială $a_0 = 1$
	016	0 000 000 000	x la puterea k, x^k; valoarea inițială $x^0 = 1$.
	017	0 000 000 000	Valoarea polinomului; valoare inițială zero
	018	0 000 000 000	Cuvînt pentru rezultate parțiale ($a_k x^k$)
	019	0 000 000 000	Cuvînt pentru rezultate parțiale (ε_k).
	020	0 000 000 001	Număr de folosit în calcule
	021	n	
	022	x	
	023	N_{max}	
	024	1 111 111 111	Numărul semnificînd DEPĂȘIRE

Adresele cursive sînt cele al căror conținut se modifică în timpul calculului.

Programul II

	Adresa cuvîntului	Conținutul cuvîntului	Observații
INSTRUCȚIUNI	001	2 *021* 012 014	Calculul termenului curent $a_k x^k$
	002	1 019 013 015	Calculul restului $\varepsilon_k = N_{max} - P_k(x)$
	003	4 014 015 006	Compară restul cu noul termen: determinarea erorii de depășire a capacității $a_k x^k - \varepsilon_k$
	004	6 020 000 000	Tipărește eroare
	005	8 000 000 000	Oprește calculul
	006	0 014 013 013	Calculul polinomului $P_{k+1}(x) = P_k(x) + a_k x^k$
	007	2 018 012 012	Calculul puterii lui x, $x^{k+1} = x \cdot x^k$
	008	0 016 001 001	*Transformarea instrucțiunii 001*
	009	4 001 017 001	Compară instrucțiunea 001 cu cuvîntul 017: determinarea sfîrșitului calculului
	010	6 013 000 000	Tipărește rezultatul
	011	8 000 000 000	Oprește calculul
DATE	*012*	0 000 000 001	Puterea lui x, x^k; valoare inițială $x^0 = 1$
	013	0 000 000 000	Polinomul $P_k(x)$; valoare inițială zero
	014	0 000 000 000	Cuvînt pentru rezultate parțiale — $a_k x^k$
	015	0 000 000 000	Cuvînt pentru rezultate parțiale — ε_k
	016	0 001 000 000	Număr pentru modificarea instrucțiunii 001
	017	2 02(1+*n*)012 014	Număr-etalon pentru comparația 009
	018	x	
	019	N_{max}	
	020	1 111 111 111	Număr semnificînd depășire
	021	a_0	
	022	a_1	
	⋮	⋮	
	02(1 + n)	a_n	

Adresele cursive sînt cele al căror conținut se modifică în timpul calculului; de asemenea este cursivă partea din instrucțiunea 001 care se modifică în timpul calculului.

016. Tot astfel instrucțiunea 009 *compară între ele* nu două numere, ca instrucțiunea 003, de exemplu, ci *două instrucțiuni*.

Din acest exemplu desprindem ca extrem de important următorul fapt: chiar cu ajutorul unei singure operații extrem de simple, și anume cea de transformare a unei instrucțiuni, putem deja *să dăm mașinii nu programul de rezolvare a problemei, ci regula de întocmire a programului* (în exemplu, modul de formare al instrucțiunii 001). *Dezvoltarea și îmbogățirea sistemului de operații logice cu care este prevăzut un calculator a permis să se treacă asupra acestuia întocmirea pe cale automată a unor programe întregi.*

Aici este cazul să ne oprim și să lămurim mai în amănunt cîteva lucruri.

Primul. Ce înseamnă a executa o instrucțiune? Transmiterea instrucțiunii înseamnă trimiterea unei combinații de impulsuri (care reprezintă codificat instrucțiunea respectivă) la intrările corespunzătoare ale unui bloc electronic. Acesta, la primirea combinației de impulsuri, generează la rîndul lui, într-o anumită ordine temporală, o succesiune de impulsuri care comandă schimbări ale stărilor circuitelor din bloc, determinînd în ansamblu executarea operației prescrise în instrucțiune. Executarea unei astfel de instrucțiuni de către un bloc electronic, datorită legăturilor fizice interne ale acestuia, se numește *execuție cablată*, iar ansamblul blocurilor care efectuează astfel instrucțiunile formează partea *cablată* a calculatorului, echipamentul calculatorului, sau ceea ce în engleză se numește *hardware*. Setul instrucțiunilor care determină nemijlocit activitatea echipamentului, precum și regulile de folosire a acestora, formează așa-numitul *limbaj-mașină* al calculatorului, el fiind specific fiecărui tip de calculator. În cursul funcționării, calculatorul lucrează numai în limbajul-mașină care îi este propriu, deoarece blocurile sale sînt astfel construite, încît recunosc și acționează numai la aplicarea în condițiile prescrise a combinațiilor de impulsuri care fac parte din setul respectiv.

Al doilea. În orice problemă cît de cît mai complicată intervin succesiuni de zeci, sute, mii și zeci de mii de astfel de instrucțiuni și adresări la zeci, sute, mii, zeci de mii, sute de mii și milioane de adrese. Întocmirea programului în limbaj-mașină, adică folosind instrucțiunile elementare adresate fiecare unui bloc specific al calculatorului și indicînd adresele fizice din memorie care urmează să fie folosite, precum

și registrele de lucru fizice care manipulează numerele, ar consuma programatorului, după cum se poate constata de la prima privire, un timp enorm. Mai mult, în practică, în majoritatea cazurilor s-ar consuma un timp imens cu *verificarea* programului, și anume cu verificarea faptului dacă acesta a fost corect întocmit și corect introdus în calculator (bineînțeles cu cît programul este mai lung, cu atît probabilitatea unei erori crește). Într-adevăr, după ce programul a fost întocmit — zeci, sute de pagini de adrese, instrucțiuni și date — el este introdus în calculator și se dă comanda START. În majoritatea cazurilor răspunsul este EROARE: fie s-au încurcat adresele, fie ordinea instrucțiunilor, fie nu s-au respectat regulile de folosire a lor. Introducerea unei noi date, schimbarea unei singure adrese, modificarea locului unei singure instrucțiuni *cere rescrierea de la capăt a întregului program care urmează modificării și reintroducerea acestuia în calculator*. Tot așa, rezolvarea aceleiași probleme după aceeași organigramă pe un alt tip de calculator cere întocmirea unui nou program, deoarece, după cum am spus, fiecare tip de calculator are un limbaj-mașină propriu.

Toate aceste probleme au fost rezolvate folosind tocmai capacitatea calculatoarelor de a întocmi în însuși procesul de funcționare programul propriu-zis. Calculatorului i se dau regulile după care urmează să fie întocmit programul; pentru aceasta s-au elaborat, pe de o parte, diferite limbaje convenționale, așa-numitele *limbaje simbolice*, care permit scrierea mult mai concisă a programelor și, pe de altă parte programe speciale, așa-numitele *programe de sistem, soft ware* în engleză, care traduc programul din limbajul simbolic respectiv în limbajul-mașină propriu.

Un limbaj simbolic conține un număr de cuvinte și de semne, vocabularul, precum și regulile de folosire a acestora, gramatica. Limbajul este cu atît mai sofisticat și mai elaborat, cu cît posedă un vocabular mai bogat și o gramatică mai complexă. Cel mai apropiat de limbajul-mașină este limbajul de asamblare *(assembler)*. Limbajul de asamblare permite scrierea mnemonică a instrucțiunilor: acestea nu mai sînt indicate prin numerele prin care sînt simbolizate, ci prin niște cuvinte care aduc aminte despre conținutul instrucțiunii respective; în exemplul nostru (vezi programele) nu se scrie instrucțiunea 002, ci MUL, cuvînt format prin prescurtarea instrucțiunii MULTIPLICĂ. Mai mult, o asemenea instrucțiune mnemonică poate cuprinde cîteva instrucțiuni din

limbajul-mașină, de exemplu MULL poate semnifica următorul șir de instrucțiuni (în funcție de instrucțiunile elementare, cablate, ale calculatorului): DRA — *D*epune în *R*egistrul *A*cumulator numărul de adresă; DRO — *D*epune în *R*egistrul *O*perator numărul de adresă; MAO — *M*ultiplică numerele din registrele *A*cumulator și *O*perator și lasă rezultatul în acumulator; DAA — *D*epune numărul din *A*cumulator în *A*dresă; într-o singură instrucțiune din limbajul de asamblare sînt cuprinse în acest caz patru instrucțiuni din limbajul-mașină. Procesul se desfășoară în felul următor: la o instalație corespunzătoare de introducere a programului se bate la mașină, să zicem, MULL; potrivit codului respectiv, dispozitivul introduce în calculator patru grupe de impulsuri semnificînd MULL; folosind programul de asamblare introdus în prealabil în calculator, acesta recunoaște grupul de semne după care elaborează succesiunea de comenzi DRA, DRO, MAO, DAA pe care le adresează blocurilor respective din calculator care și execută comenzile. Programul de asamblare face parte din grupa programelor de sistem (din *software*). Cu cît limbajul este mai complex, cu cît calculatorul este mai mare, cu atît programele sale speciale — de interpretare, de verificare, de supraveghere, de corectare, de înlănțuire, de încărcare (ultimele două se referă la legarea în lanț, la traducerea în limbaj-mașină a diferitelor instrucțiuni în așa fel, încît acestea să formeze un șir consistent, și la depunerea efectivă a instrucțiunilor și datelor în adresele fizice ale calculatorului) — sînt mai complexe și mai bogate. Mai mult, orice problemă rezolvată, adică programul pentru rezolvarea problemei respective, poate intra în biblioteca calculatorului și poate fi folosită ori de cîte ori în rezolvarea unei noi probleme cea veche intră ca o subparte componentă. De exemplu, calculul unor polinoame de tipul cu care am ilustrat funcționarea calculatorului poate să intre și intră deseori ca un pas intermediar în rezolvarea altor probleme; programul de calcul al polinomului este introdus în calculator în memorie și poate fi chemat printr-o singură instrucțiune. Astfel, programul amintit poate fi scris în FORTRAN, unul din cele mai elaborate limbaje simbolice, a cărui denumire vine de la *FOR*mula *TRAN*sla*tion*; dacă are nevoie de un astfel de calcul, programatorul indică cu un cuvînt polinomul și dă datele x, n, a_i de calcul.

Întîlnind cuvîntul, programul de sistem ia din memorie programul de calcul al polinomului *(subrutina*, cum i se spune), îl completează cu datele de calcul, efectuează calculul, trimite subrutina din nou în memorie, iar rezultatul îl folosește pentru continuarea calculelor. Limbajele simbolice au fost elaborate specializat; am amintit de FORTRAN pentru probleme de știință și de inginerie. Putem aminti de asemenea de COBOL pentru probleme economice și de evidență și de ALGOL pentru probleme științifice.

Rezumînd, trebuie să reținem următoarele: fiecare calculator, pentru a executa efectiv un program, are nevoie să capete instrucțiunile scrise în limbaj-mașină (în limbajul propriu) înșirate într-o structură logică consistentă și scrise împreună cu datele în locuri bine precizate din memorie; programatorul scrie programul într-unul din limbajele simbolice elaborate, limbaje abreviate, și specializate ale unei limbi „naturale" (în particular ale limbii engleze), limbaje caracterizate prin formalismul lor absolut, ele nepermițînd nici o ambiguitate. Scriind programul, programatorul ignorează atît limbajul-mașină, cît și adresele fizice din memorie, pe acestea din urmă desemnîndu-le simbolic. În calculator, programul este introdus în limbaj simbolic, iar calculatorul, folosind grupul de programe de sistem, *verifică corectitudinea formală* a programului introdus, *îl interpretează, îl traduce în limbaj-mașină, alocînd* și *adresele fizice* necesare; *efectuînd programul*, calculatorul *traduce rezultatele obținute* în limbajul simbolic inițial și *livrează* rezultatele programatorului.

Din cele de mai sus, se poate întrevedea, credem noi, pe de o parte, complexitatea unui asemenea dispozitiv și, pe de altă parte, caracterul de dispozitiv mecanic, în sens de absolut formalizat, pe care-l prezintă funcționarea unui astfel de dispozitiv. Forța dispozitivului constă, în primul rînd, în viteza fantastică, milioane pînă la miliarde de operații elementare pe secundă, și, în al doilea rînd, în capacitatea acestuia de autoorganizare. Ambele aceste proprietăți îl fac susceptibil să lucreze cu *precizia aritmetică* și cu *adîncimea logică* care-l caracterizează. Prin *precizie aritmetică* se înțelege numărul cifrelor semnificative cu care lucrează, în sistemul zecimal preciziile ajungînd pînă la 10^{-24} (o milionime

de miliard de miliard!) [1], iar prin *adîncime logică* numărul de pași logici succesivi, de propoziții succesive necesare pentru a rezolva problema, în mare vorbind numărul de instrucțiuni pe care îl cuprinde programul. Fără capacitățile de memorare și de organizare, fără viteza de lucru pe care o posedă, calculatoarele contemporane nu ar putea face față problemelor cu care sînt confruntate.

Cititorul ar putea remarca, și, socotim noi, pe drept cuvînt, că în acest caz toată problema pe care o discutăm este artificială: caracterul absolut formalizat al proceselor din calculator fac din acesta un dispozitiv automat în sensul cel mai brutal al cuvîntului; „creierul artificial" nu este în acest caz decît o prelungire — foarte abilă este drept —, dar o simplă prelungire a creierului uman. Creierul artificial nu face decît să execute mecanic și repede ceea ce creierul uman a *conceput și a rezolvat în principiu, dar nu a efectuat încă în concret.*

În fond, cînd cineva formulează o problemă și indică pașii care duc sigur la rezolvarea ei, în formularea inițială este cuprinsă, implicată soluția. „Găsirea" ei nu este de fapt un act real de găsire, ci doar de explicitare: „găsirea" a avut loc în momentul formulării problemei și soluționării de principiu a acesteia.

Problema s-ar limita la atît dacă nu am avea și așa-numitele *programe euristice*, programe care pun calculatorul să *caute* soluția, nu *să* o *expliciteze* doar, „să efectueze", hai să spunem așa, un act de creație. Despre aceste programe și despre raporturile creier uman — creier artificial din punctul acesta de vedere, al creației, vom reveni în capitolul următor, ultimul; pînă atunci socotim însă că mai merită să adăugăm cîteva cuvinte despre această „activitate mecanică" a calculatoarelor.

În primul rînd, am sublinia că explicitarea soluției apare banală și doar ca economie de efort, de „muncă neagră intelectuală" numai în cazul unor probleme care ar putea fi rezolvate totuși de un grup de calculatori abili și răbdători.

---

[1] Desigur, în marea majoritate a cazurilor nu avem nevoie de rezultatul *final* cu asemenea precizie. Datorită însă acumulărilor erorilor, calculele intermediare trebuie efectuate cu astfel de precizii! De exemplu, scăzînd două numere între ele, A—B, precizia rezultatului este mult mai mică decît precizia datelor inițiale: A = 433178, B = 433052, A − B = = 126. Precizia lui A și B este de maximum 10^{-6}, ± 1 la ultima cifră față de șase cifre zecimale care definesc numărul, a lui A — B maximum 10^{-3}, ± 1 față de trei cifre zecimale care definesc numărul rezultat!

În cazul problemelor care prin amploarea lor fac *practic* prohibitivă orice rezolvare a lor de către om cu „mîna" (și acestea nu sînt puține; din contră, ele formează majoritatea) lucrurile devin mai complicate. Rezolvarea eventuală a problemei într-un timp imens face nesemnificativă, anulează *valoarea pragmatică* a soluției: de exemplu, prognoza meteorologică poate fi foarte precisă — împotriva experienței pe care o avem cu prognozele publicate zilnic (!) — cu condiția ca să fie prelucrate un număr imens de date de observație măsurate cu 24 ore înaintea prognozei; prelucrarea acestor date cere însă un birou de calcul de cîteva sute de persoane și o activitate de o lună, două! „Prognoza" astfel obținută are o lună, două întîrziere! Din punct de vedere practic, ca valoare pragmatică, rezultatul este nul: interacțiunea informațională nu se realizează, deoarece unul dintre momentele esențiale în luarea deciziei, realizarea semnificației pragmatice, nu are loc, sau, mai exact, este caducă, deoarece vine prea tîrziu în raport cu evoluția împrejurărilor față de care trebuie luată decizia și trebuie acționat. Din acest motiv, o serie de procese de dirijare nu pot fi efectuate deoarece timpul necesar elaborării deciziei este prea mare în raport cu timpul pus la dispoziție pentru ca aplicarea deciziei să fie eficientă.

Punerea calculatoarelor în regim „în linie" (on-line), în legătură directă și „în timp real" cu obiectul de comandat, accelerînd cu multe ordine de mărime procesul de prelucrare, face posibilă dirijarea efectivă a obiectului. În acest caz, calculatorul înlocuiește *efectiv* omul, creierul artificial înlocuiește *efectiv* creierul uman; creierul artificial lucrează *în sine* și se ocupă de dirijarea procesului. El lucrează însă în *cadrul* prescris de operator (nu considerăm aici programele euristice și de învățare), el nu lucrează *„pentru sine"* ci *„pe post de"*. În acest cadru, creierul artificial *este prelungirea* creierului uman, înlocuitor pe o problemă dată, limitată.

Sînt însă probleme care practic nu pot fi calculate, datorită complexității lor și volumului de date nici de birouri de calcul cu sute și mii de persoane care ar lucra zeci și sute de ani, probleme care, fără calculator, nu pot fi pur și simplu rezolvate. În acest caz, lucrurile sînt mai delicate: neputînd rezolva efectiv problema, omul nu poate afirma nici măcar că rezolvarea de principiu este bună, criteriul ultim al fiecărei rezolvări fiind compararea rezultatelor cu datele din real, cu practica. În acest caz, interacțiunea informațională

este blocată pe o treaptă anterioară: neputînd obține rezultatele, nu se poate realiza nici măcar *semnificația cognitivă*. În exemplul de mai înainte, realizarea acesteia era posibilă: cunoscînd starea timpului după 24 de ore și avînd prognoza (este drept, după o lună!), ele pot fi comparate și de aici trasă concluzia dacă modelul cu care s-a lucrat a fost sau nu corect, adică se poate realiza momentul cognitiv al interacțiunii. Se vede însă că și în acest caz mașina de calcul electronică lucrează *în sine*, dar nu *pentru sine*: rezolvarea programului dă posibilitatea unui sau mai multor creieri umani să tragă concluzii cognitive asupra modelelor cu care s-a lucrat, asupra valorii soluțiilor propuse sau utilizate.

Prin urmare, chiar în cadrul procesului mecanic de calcul sau al procesului mecanic de deducții logice, „activitatea" creierului artificial este greu de declarat ca „necreativă": procesul mecanic din creierul artificial mijlocește realizarea valorii cognitive și pragmatice din cadrul interacțiunii informaționale, permite realizarea acestuia și ca atare creierul artificial ia efectiv parte la procesul de dirijare.

Obiecția principală este că în acest cadru creierul artificial prelungește creierul uman, este o simplă unealtă a acestuia și *nu creier în sine și pentru sine*, sau, mai larg și mai corect, creierul artificial se încadrează într-un sistem de dirijare „antientropic", organizat de o formație activă, și nu se constituie într-o formație activă, „antientropică" prin esență, în sine și pentru sine.

Contraobiecțiile principale se aduc pe două linii: prima, prin programele euristice cu autoînvățare, creierul artificial poate să se constituie și se constituie într-o formație care nu are o comportare cu caracter mecanic absolut; a doua, în creierul uman, în pofida unor aparențe contrare, desfășurarea proceselor interne este de aceeași natură ca cea din creierii artificiali, mecanică dacă vreți, doar cu o complexitate mult mai mare și numai de aceea, aparent, de altă natură.

În ce măsură aceste contraobiecții sînt justificate vom analiza în capitolul următor.

Să rezumăm. Artificialul apare în natură ca urmare a acțiunilor ordonatoare ale formațiilor active, care „extind" pe această cale limitele organismului, scăzînd entropia mediului imediat înconjurător (pe seama creșterii entropiei în alte zone) pentru a asigura în mai bune condiții menținerea entropiei scăzute a propriului organism.

Esența activității umane constă în extinderea permanentă a lumii artefactului, în organizarea din ce în ce mai cuprinzătoare a mediului pentru a-l acomoda necesităților dezvoltării societății umane și, prin ea, a omului ca individ.

Artefactul se caracterizează prin aceea că, înainte de a fi realizat ca atare, înainte de a fi obiectualizat în real, este constituit în plan ideal sub formă de proiect. Ca urmare, discuția cu privire la raporturile creier uman—creier artificial implică raportarea a trei termeni: realul așa cum este el în speță, creierul uman; modelele teoretice ale creierului, în cadrul cărora se pun în discuție laturile fundamentale ale activității sistemului nervos central și eventualele limite principiale ale reproducerii lor artificiale; și, în fine, modelele fizice, implementările concrete în real ale modelelor teoretice, calculatoarele electronice universale, înzestrate cu programele corespunzătoare, care pun în discuție limitările concrete pe calea realizării creierilor artificiali.

Realul ca atare este și *complex*, în sensul multitudinii conexiunilor colaterale, și *adînc*, în sensul conexiunilor și dependențelor fiecărui nivel de nivelurile subiacente.

Modelele teoretice și, corespunzător, artefactele se caracterizează în primul rînd printr-o relativă adîncime rațională și o relativă simplitate colaterală. În cadrul artefactului sînt îmbinate rezultatele optimizării consecințelor raționale desfășurate pe una sau pe cîteva linii cu simplificarea puternică a conexiunilor și a implicațiilor pe celelalte linii de „cuplare" cu realul. Drept rezultat, artefactul se caracterizează prin performanțe de vîrf pe o linie și prin maleabilitate, plasticitate redusă pe alte linii, în timp ce „naturalul" (ne referim la viu) se caracterizează în primul rînd prin plasticitate.

Automatele modelează, în esență, interacțiunea informațională. Ele sînt organizate astfel încît, pe baza recunoașterii stării mediului — realizarea momentului fizic prin constatarea modificării intervenite la intrare — și a stării pe care o au în momentul modificării intrării, trec într-o nouă stare: realizarea momentului cognitiv, a reflectării schimbărilor survenite, și elaborează ceea ce se numește o nouă ieșire: realizarea momentului pragmatic și al deciziei de acționare.

Modelele teoretice ale automatelor au fost dezvoltate pe mai multe linii, în principal ca mașini secvențiale, rețele de neuroni McCulloch-Pitts și mașini Turing. În cadrul acestor modele s-a demonstrat că orice operație logică de elaborare a unor concluzii consistente cu niște premise date poate

fi realizată cu ajutorul a cîtorva operații elementare, fie ele ȘI, SAU, NU, fie ca la mașina Turing: citește un simbol, scrie un simbol, mută un pas la dreapta, mută un pas la stînga, oprește.

Pornind de la demonstrarea faptului că orice operație de logică formală poate fi realizată cu ajutorul unor pași elementari care pot fi îndepliniți de mașini construite corespunzător, precum și de la faptul că nu există piedici principiale în calea construirii unor astfel de mașini, o parte din cercetători au tras concluzia că toate procesele de gîndire ar putea fi efectuate de astfel de mașini, de unde și concluzia identității de natură a proceselor de gîndire dezvoltate de creierii artificiali cu procesele din creierii naturali.

În cadrul acestor modele teoretice ale creierului nu se ține seama de caracterul esențialmente neformal al gîndirii creatoare, spre deosebire de caracterul formal al gîndirii „deductive"; în particular, nu s-a ținut seama de rolul sferei emoționale în desfășurarea proceselor de gîndire și în general în dirijarea comportamentului formației active; nu s-a ținut seama de rolul de „instrument" pe care îl are gîndirea, în general activitatea sistemului nervos central, pentru realizarea însăși a esenței formației active, aceea de a fi pentru a fi. Discuția amănunțită a aspectelor amintite urmează să fie purtată în capitolul ultim, cu luarea în considerare a materialului atît experimental, cît și a celui teoretic.

Calculatoarele electronice universale constituie realizări de vîrf pe linia elaborării mijloacelor de prelucrare a informației și, ca atare, a mijloacelor de realizare a comportamentelor de „formație activă artificială".

Acționînd, în esență, asupra unor numere reprezentate prin stările unor circuite, calculatoarele electronice universale își datorează marile lor posibilități faptului că numerele pot reprezenta codificat diferite simboluri, iar operațiile asupra numerelor care reprezintă simboluri operații logice asupra acestor simboluri. Ca atare, calculatoarele electronice nu sînt simple unități de calcul, ci unități de prelucrare logică a informației.

Pentru a-și desfășura activitatea, calculatoarele au nevoie să li se prescrie întocmai, pas cu pas, modul de acționare, adică să li se dea programul de rezolvare al fiecărei probleme în parte, program care trebuie să fie exhaustiv, indicînd toți pașii care trebuie executați pentru a duce rezolvarea problemei pînă la capăt.

Marile posibilități ale calculatoarelor electronice ca unități de prelucrare logică a informației reies însă din faptul că programele pot fi întocmite cu condiționarea, alegerea desfășurării rezolvării în funcție de rezultatele parțiale, necunoscute de programator, dar prevăzute ca posibile, și cu modificarea logică a însești instrucțiunilor din program în funcție de desfășurarea rezolvării.

La ora actuală, calculatoarele electronice universale, înțelegînd prin aceasta atît partea lor instrumentală propriu-zisă, cît și biblioteca de programe de servire și de probleme rezolvate, constituie un mijloc major de accelerare a revoluției tehnice-științifice contemporane.

Din punctul de vedere al raporturilor creier uman — creier artificial interesează însă în principal posibilitățile calculatoarelor de a prelua funcții specifice de gîndire creatoare, de exemplu rezolvarea problemelor de strategie, traducerea textelor, elaborarea operelor de artă, pe baza unor programe special elaborate.

Calculatorul electronic înzestrat cu un astfel de program constituie creierul artificial pe care s-a încercat modelarea unor laturi fundamentale ale psihologiei gîndirii.

După autorii respectivelor realizări, aceste încercări au fost încununate de succes sau, cel puțin, au deschis o cale principial nouă în studiul psihologiei gîndirii.

Că lucrurile nu stau tocmai așa, că modelarea realizată pe această cale surprinde doar o latură restrînsă a gîndirii umane și nu laturile esențiale ale proceselor desfășurate de sistemul nervos central uman, credem că se va demonstra în capitolul de încheiere a lucrării.

Nu modelările comportamentului uman realizate pe calculatoarele universale, fără discuție interesante în sine și completînd și ele bagajul cunoașterii umane, constituie latura majoră și principială a calculatoarelor universale, ci caracterul lor de „prelungitoare" ale creierului, așa cum instrumentele sînt „prelungitoare" ale mîinii.

VII. CREIER UMAN ȘI CREIER ARTIFICIAL

Folosirea din ce în ce mai mult — în economie, în industrie, în cercetări, în învățămînt etc. — a calculatoarelor electronice prevăzute cu programe generale de sistem constituie probabil elementul cel mai important al revoluției tehnice-științifice ce se desfășoară în a doua jumătate a secolului al XX-lea. Cu ajutorul acestor programe de sistem și a programelor speciale întocmite pentru fiecare caz în parte sînt rezolvate o mulțime de probleme, care altfel ar rămîne, din motivele amintite în capitolul precedent, în afara domeniului de acces al creierului. Contribuind la rezolvarea acestor probleme, calculatoarele electronice universale constituie adevărate prelungiri ale creierului uman, „prelungiri" în același sens în care orice unealtă constituie o prelungire a mîinii.

Fără a contesta deloc însemnătatea calculatoarelor electronice universale ca „unelte", ci, dimpotrivă, subliniind însemnătatea lor și rezervîndu-ne pentru mai departe considerarea efectelor sociale ale apariției și dezvoltării calculatoarelor electronice universale, este aproape evident că în acest cadru denumirea de „creier artificial" nu ar putea pretinde să fie altceva decît o metaforă frumoasă.

Însă eforturile făcute și, în parte, soldate cu succes pe linia elaborării unor programe destinate să facă din calculatorul electronic un instrument care să rezolve, măcar incipient probleme ce țin de domeniul inteligenței creatoare[1]

[1] Repetăm o observație pe care am mai făcut-o: nu considerăm utilă cel puțin aici o încercare de determinare riguroasă, formală a ceea ce se numește „inteligență creatoare", ci socotim mai util ca noțiunea să se contureze din desfășurarea discuției.

fac ca această denumire să fie, cel puțin parțial, justificată. În ce măsură și în ce sens justificată, vom încerca să desprindem, urmărind în linii mari, bineînțeles, structura acestor programe, lucrările care pun față în față activitatea creierului uman și a celui artificial, argumentele celor care tind să le identifice sau pur și simplu le identifică, precum și argumentele celor care obiectează împotriva unei astfel de identificări.

Primul program la care ne vom referi este cel al calculatorului (sau, dacă vreți, al creierului artificial) care răspunde la întrebări. În memoria calculatorului se introduce un masiv de date referitoare la un domeniu oarecare, masiv aranjat și clasificat după anumite criterii. Pe lîngă aceasta, calculatorul este înzestrat cu un program care să răspundă la întrebări ce se referă la masivul respectiv de informație, întrebări formulate într-o limbă naturală. Masivul respectiv de date poate să se refere, de exemplu, la bibliografia aferentă unui anumit domeniu sau la rezultatele jocurilor de fotbal din divizia A, să zicem, pe ultimii cinci ani[1]. Să considerăm al doilea exemplu, cu un caracter mai puțin practic, dar pe care este mai ușor de ilustrat modul de lucru al unui astfel de program. Datele sînt aranjate în memorie în felul următor: anul, luna, stadionul, ziua, numărul seriei jocului, echipa întîi, scorul (golurile înscrise), echipa a doua, scorul etc., date care sînt reprezentate codificat; ele formează în ordinea de mai sus un cuvînt de cod. Cuvintele sînt grupate pe ani, în cadrul anilor pe luni, în cadrul lunilor pe cele, să zicem, 20 de terenuri pe care au loc jocurile, în cadrul fiecărui teren pe datele respective (pe zilele respective din lună), ordinea jocurilor și, în fine, echipele.

În privința întrebărilor există o restricție serioasă, și anume ele trebuie să fie simple (necondiționate), dar pot fi formulate în fraze curente. De exemplu: „În cîte meciuri care au avut loc în lunile iulie pe stadionul X a cîștigat echipa-gazdă?" (în codul care reprezintă denumirea echipei este introdusă și desemnarea terenului propriu, unde aceasta este „gazdă"). Potrivit programului cu care este înzestrat, calculatorul interpretează întrebarea, elaborînd o schemă tip, în exemplul nostru: anul = toți; luna = iulie; stadionul = X; ziua = oricare; echipa-gazdă = ?; echipa „străină" (negazdă) = ? Odată întrebarea adusă la schema-tip, în care sînt trecute atît datele cunoscute, cît și cele care trebuie aflate (pe care le-am însemnat cu „?"), calculatorul purcede la inspectarea memoriei, luînd pe rînd „zilele" lunilor din fiecare an, selectînd „fila" cu stadionul respectiv, urmărind-o prin toate zilele, stabilind punctele echipei-gazdă și ale invitatei, comparîndu-le și stabilind cine a cîștigat, reținînd numărul tuturor partidelor analizate și numărul partidelor în care echipa-gazdă a cîștigat. Totul se face cu viteza caracteristică calculatorului, tipărind, practic imediat, răspunsul: pe stadionul X, în luna iulie, echipa-gazdă a cîștigat atîtea meciuri din totalul de meciuri jucate.

Cu referire la acest program sînt evidente cîteva lucruri. Bunăoară, masivul de date este aranjat în prealabil după anumite criterii, iar întrebările la care se răspunde sînt condiționate a fi formulate potrivit aranjamentului ales. Elaborarea criteriilor constituie actul de gîndire propriu-zis (în sens de creator); el revine în întregime programatorului, creierului uman. Aranjarea materialului în memorie potrivit criteriilor poate fi un act „pur mecanic" dacă materialul este net formalizabil, cum este cazul cu jocurile de fotbal, sau poate mai puțin „pur mecanic" dacă este vorba de material bibliografic, să zicem, unde unele articole sînt greu de prins în cadrul unei scheme date. Aranjarea o face programatorul; el poate însă, cel puțin parțial, „s-o paseze" și creierului artificial. Răspunsul la întrebare, *după ce în prealabil a fost adusă la forma stereotipă*, este și el un *act mecanic* pe care calculatorul îl execută mai repede și mai sigur decît oricare creier uman. Partea de „creație" propriu-zisă constă tocmai în aducerea întrebării formulate în limbaj curent la forma stereotipă. Într-adevăr, întrebarea poate fi formulată ori ca mai sus: „În cîte meciuri care au avut loc în lunile iulie pe stadionul X a cîștigat echipa-gazdă?"; sau ca în exemplul următor: „De cîte ori a cîștigat în luna iulie echipa gazdă meciurile jucate pe stadionul X?"; sau în alt chip. De fiecare dată însă, creierul artificial trebuie *să recunoască* întrebarea, adică s-o aducă la o schemă tip, la aceeași schemă tip, ori de cîte ori conținutul

[1] Primul program de acest fel a fost întocmit pentru campionatul de *basseball* din S.U.A. (basseballul este un joc care seamănă cu oina).

întrebării este același. *Recunoașterea chipului* [1] constituie o problemă centrală în elaborarea inteligenței artificiale, a creierilor artificiali[2].

Pe lîngă calea pe care o discutăm, aceea a unor programe speciale pentru calculatoarele electronice universale de care

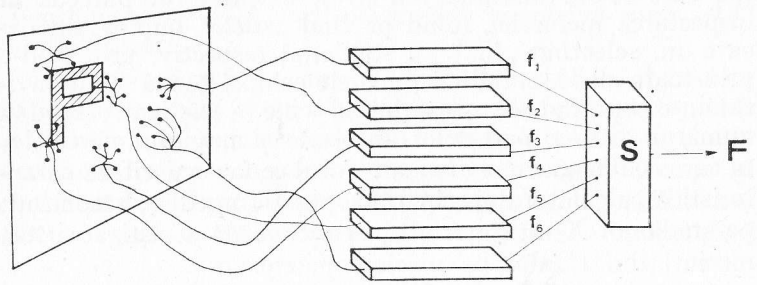


Fig. 48 — Schema perceptronului.

ne ocupăm, merită să menționăm aici și o altă cale, și anume aceea a calculatorului de tip paralel, *perceptronul*. Spre deosebire de celelalte calculatoare, în structura perceptronului este prevăzută achiziționarea informației în paralel, pe mai multe, pe foarte multe căi, și prelucrarea acestei informații de asemenea manieră, încît perceptronul să „recunoască obiectul" (fig. 48). În legătură cu această direcție de dezvoltare

[1] S-a tradus prin „chip" cuvîntul englez *pattern* sau cel rus *obraz*, fiecare avînd cîte o sferă de înțelesuri mai largă ce nu se acoperă în întregime, cuprinzînd și înțelesul de „fel de a fi", „model", „tip", „manieră", „formă", incluzînd în engleză și sensul, ca verb, „a potrivi", „a pune în concordanță două obiecte" (de exemplu modelul și o copie). Or, a recunoaște un *pattern* semnifică pentru calculator a pune în corespondență setul de date obținut de la obiectul de recunoscut cu diferitele seturi de date caracterizînd modelele și a stabili după diferite criterii „maximul de asemănare", maxim pe baza căruia se face „recunoașterea" și în continuare clasificarea sau selectarea obiectului. Variante ar fi: recunoașterea „formei" (aceasta constituie însă un caz particular), a „obrazului" (are mai degrabă altă semnificație) sau a ... „fasonului" (din păcate, aduce aminte de personajele din Caragiale).

[2] N. Y. Nilsson, *Learning machines*, McGraw-Hill Book Comp., New York, 1965: „... Mecanizarea unei largi varietăți de sarcini intelectuale care înainte erau efectuate numai de oameni ... ca, de exemplu, dotarea ... mașinilor cu abilitatea de a juca șah, de a prevedea timpul probabil, de a demonstra teoreme, de a recunoaște sunetele în vorbire, de a pune diagnostice, de a selecta fotografii și de a citi texte scrise de mînă..., implică dotarea mașinilor cu abilitatea de a clasifica și selecta datele" (p. 1).

a creierilor artificiali reținem în primul rînd că ei se apropie cel mai mult, într-un anumit sens ca structură, de creierii naturali. Într-adevăr, am văzut cînd s-a analizat „ce povestește ochiul de broască creierului de broască", că imaginea de pe retină este analizată și informația trimisă în paralel în creier, care elaborează o reflectare în termeni corespunzători necesităților de reglaj ale creierului respectiv. Tot astfel, de exemplu, la om, cele circa 6 milioane de semnale primite de la o imagine proiectată pe retină de către cele circa 6 milioane de celule senzitive din retină sînt prelucrate și reduse prin intermediul a trei straturi de neuroni la circa 600 de mii de semnale trimise în paralel creierului, semnale din a căror prelucrare creierul reface imaginea și totodată recunoaște, să zicem, că un pătrat sau un triunghi este pătrat sau triunghi indiferent dacă acesta este așezat în prim plan, sau este „culcat", proiectat într-un fel sau altul. De aceea și studiul în această direcție, inițiat în 1957, a fost gîndit de la bun început ca un studiu al mecanismelor din creier[1]. În al doilea rînd, trebuie să reținem că voga și euforia pe care le-au stîrnit primii pași în direcția elaborării perceptroanelor au fost urmate destul de repede de deziluzii puternice, legate de greutățile întîmpinate. Însă cercetările nu s-au oprit și, în prezent, se conturează constituirea unei teorii mai închegate a calculatoarelor de tip perceptron[2]. Indiferent însă de calea pe care se merge în problema „recunoașterii", aceasta constituie fără îndoială un pas necesar în direcția creării „inteligenței artificiale", un pas necesar, însă, ținem să subliniem, nu și suficient, deoarece „recunoașterea" constituie doar un prim pas spre ceea ce se numește „înțelegere".

O etapă importantă o constituie elaborarea programelor de traducere automată dintr-o limbă în alta. Într-o traducere intervin doi termeni, ca să spunem așa: „recunoașterea" textului în limba din care se traduce și „constituirea" lui în limba în care se traduce, „recunoaștere" și „constituire" care implică amîndouă un grad mai mic sau mai mare de „înțelegere". Aceste două laturi apar și în traducerea făcută de om: rareori o traducere iese „curată" dintr-o dată; de regulă, întîi se „recunoaște" textul original, această „recu-

[1] Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics — Perceptrons and the theory of brain mechanisms*, Spartan Books, New York, 1962.

[2] Marvin Minsky, Seymor Papert, *Perceptrons, an introduction to computational geometry*, The MIT Press, Massachusetts, 1969.

noaștere" aducînd cu sine o transpunere mai mult sau mai puțin grosolană a textului original în limba în care se traduce, transpunere care, ulterior, este „adusă" la o formă curgătoare, specifică limbii în care se traduce. Înainte de a arăta în linii mari cum este constituit un astfel de program, trebuie să spunem că și în această problemă putem distinge un stadiu inițial de mare euforie, urmat de o puternică dezamăgire în fața rezultatelor obținute, mai mult decît modeste[1]. Cu ajutorul calculatoarelor se pot traduce texte relativ simple, referitoare la domenii înguste de specializare, iar textele obținute sînt de o calitate absolut modestă. Cu toate acestea, posibilitatea însăși a unei traduceri cu ajutorul unui calculator este în sine un fapt foarte interesant, iar greutățile de care se izbește o astfel de traducere pot arunca o oarecare lumină asupra „barierelor" pe care ar trebui să le depășească un creier artificial pentru a se apropia ca performanțe de creierii naturali.

Pentru a efectua o traducere, în memoria mașinii „se înscrie" în primul rînd un dicționar, adică se introduc — bineînțeles codificate și aranjate în ordine alfabetică — literele, unele rădăcini ale cuvintelor, cuvintele, unele forme ale cuvintelor, grupe de cuvinte formînd expresii, fragmente de propoziție, propoziții. În ansamblu, dicționarul introdus în memoria mașinii este mult mai voluminos decît cel cu care lucrăm în mod obișnuit. Pe urmă se introduce programul necesar efectuării traducerii, după care se trece la introducerea cu ajutorul teletipului, cuvînt cu cuvînt, de fapt literă cu literă, semn cu semn, a textului ce urmează să fie tradus. La comanda de pornire, calculatorul începe să recunoască semnele și cuvintele respective și să rețină codificat într-un registru prima propoziție sau un prim fragment de propoziție introdus (registrul are o capacitate dată). Apoi, conform programului, calculatorul începe să caute în dicționar. Bineînțeles, căutarea nu se face la rînd, filă cu filă; un astfel de procedeu ar consuma un timp enorm, chiar în condițiile vitezelor de lucru ale calculatoarelor contemporane. Se caută rapid, așa cum de fapt căutăm și noi într-un dicționar, și anume, se ia zona cu „paginile" din „memorie" care au drept

[1] Problema „traducerii automate", ca și cea a „reacției termonucleare dirijate", constituie exemple „clasice", am spune, de extrapolare euforică a unor prime rezultate, extrapolare care se dovedește inconsistentă în fața uriașelor greutăți care trebuie rezolvate pentru a realiza efectiv „ideea".

semne de început semnele cu care începe fragmentul din registru; pe urmă se ia zona cu semnele următoare, pînă se ajunge la „pagina" sau „paginile" cuprinzînd propozițiile care încep la fel cu propoziția aflată în lucru. După aceea „se parcurg" cele cîteva „pagini", efectuînd operația de „potrivire": în momentul în care se găsește echivalentul propoziției de tradus, acesta este transmis într-un bloc special (despre funcția acestui bloc vom vorbi ulterior). În continuare se ia la rînd propoziția următoare (sau fragmentul următor). Evident însă că „dicționarul" nu are cum să cuprindă toate propozițiile care pot interveni în limba respectivă, ci numai o parte din ele, anume pe cele mai curente. Ce face calculatorul dacă nu găsește nici un echivalent propoziției în lucru? Potrivit programului, negăsind un echivalent „direct" întregii propoziții aflate în lucru, calculatorul reia operația „potrivirii", considerînd doar o primă parte a propoziției respective; dacă nici astfel nu găsește un echivalent „direct", operația este reluată din nou cu cîteva cuvinte, pe urmă considerînd doar primul cuvînt. În fine, dacă în dicționar nu se găsește un cuvînt corespunzător cuvîntului aflat în curs de traducere, potrivit programului, calculatorul trece la transpunerea literă cu literă a cuvîntului respectiv. Totodată, ori de cîte ori calculatorul ajunge să rezolve situația în acest fel, cuvîntul respectiv este însemnat cu un semnal special. Desigur, transpunerea literă cu literă nu constituie o traducere; ea este însă folositoare ori de cîte ori intervin nume proprii sau alte cuvinte care nu se introduc în dicționar și evită situațiile în care calculatorul ar trebui să răspundă „nu știu ce să fac!". Prin urmare, traducerea automată implică următorii pași: 1) Depunerea în registru a codului frazei luate spre prelucrare; 2) „Filarea" paginilor dicționarului pînă se găsesc paginile care încep cu aceleași cîteva litere cu care începe fraza; 3) Parcurgerea ultimei pagini din grupul respectiv „de la sfîrșit spre început" pînă se găsește echivalentul frazei în lucru; 4) Dacă nu se găsește pe această pagină un echivalent, se trece la pagina anterioară și se repetă operația pînă se găsește un echivalent sau se epuizează paginile care încep cu semnele respective; 5) Dacă nu se găsește un echivalent la nivelul frazei, se recaută în ordine la nivelul de fragment de frază, de cuvinte sau de litere pînă se găsește un echivalent; 6) Se trimite echivalentul găsit în blocul intermediar amintit; 7) Se șterge din registru partea care a fost „tradusă" și se reiau operațiile de mai sus cu partea următoare.

Fragmentele se adună în blocul intermediar pînă se întîlnește un semn de punctuație corespunzător (punct, punct virgulă etc.) și apoi sînt supuse unor prelucrări ulterioare, se adaugă, de exemplu, prefixe în funcție de cuvintele sau de fragmentele vecine, se rearanjează ordinea fragmentelor și a cuvintelor după topica limbii în care se traduce, iar rezultatul se tipărește. Se obține un text pe care, cu oarecare bunăvoință, ... un creier uman îl acceptă. Procesul traducerii, așa cum a fost descris, este fără îndoială un proces mecanic; astfel realizată, operația traducerii este doar *aparent* o manifestare de inteligență; faptul că în multe cazuri se consideră suficientă o astfel de traducere este cu totul altceva. În esență însă, traducerea este ceea ce numim „creație", și aceasta cu atît mai mult cu cît textul este mai „original", cu cît este în mai mare măsură ceea ce numim text frumos, artă (și un text de matematică poate fi scris artistic sau sec!). Deoarece vrem să punem în evidență elementele principiale ale problemei pe care o discutăm, ținem să subliniem că nu vedem cum ar putea un creier artificial efectua o traducere, de exemplu, de genul celeia pe care a realizat-o Lermontov transpunînd în limba rusă una dintre cele mai vestite poezii lirice ale lui Goethe; în afara cazului în care acel „creier artificial" ar deveni un exemplar deosebit de înzestrat al națiunii care folosește limba în care se traduce și suficient de cult pentru a „simți" poezia în limba din care traduce. Într-adevăr[1], ceea

[1] Redăm aici textele în limba germană și limba rusă și traducerea lor tip ... creier artificial în limba română pentru a ilustra afirmațiile făcute:

Ein gleiches

Über allen Gipfeln
Ist Ruh,
In Allen Wipfeln
Spurest du
Kaum einen Hauch;
Die Vögelein schweigen im Walde
Warte nur, balde
Ruhest du auch.

Precum

Deasupra tuturor vîrfurilor munților
E liniște,
În vîrfurile copacilor
Abia de simți
O respirație,
Tac păsărelele-n pădure
Așteaptă puțin, curînd
Te vei odihni și tu.

Și:

Iz Goethe

Gornîe verșina
Spiat vo tme nocinoi;
Tihie dolina
Polnă svejei mgloi;
Ne pîlit doroga,
Ne drajat listî ...
Podojdi niemnogo
Otdohnioș i tî.

Din Goethe

Vîrfurile muntoase
Dorm în bezna nopții;
Văile liniștite
Pline sînt de proaspătă ceață;
Nu se ridică praful de pe drumuri;
Frunzele nu freamătă ...
Așteaptă puțin, curînd
Te vei odihni și tu.

ce surprinde în această traducere este *necorespondența* formală cvasitotală a imaginilor! Traducătorul găsește însă pentru omul din sudul Rusiei imaginea din natură care redă cel mai fidel starea sufletească — *ea, aceeași!* — pe care poetul din limba originală o ilustra cu o imagine apropiată omului obișnuit cu peisajul german. Ceea ce vrem să subliniem este că un traducător (și nu un ... trădător!) nu redă, ci transpune, recreează originalul în traducere, act la care participă cu toată structura sa de formație activă — condiționată biologic, social și individual — și nu numai cu „aparatul" său logic-formal, pe care bineînțeles îl mînuiește și încă foarte bine[1].

Să reținem acest moment: toate programele care pun calculatoarele electronice universale să efectueze procese de „creație" constituie îmbinări din ce în ce mai abile ale procedeelor diverselor „aparate logice-formale", procedee și aparate mînuite astfel încît din cîteva operații elementare simple să se obțină rezultate destul de complexe. „O semnificație deosebită o prezintă împrejurarea că mecanismele descrise ... care dau naștere unor fenomene complexe sînt ca atare foarte simple. Uneori cercetătorii care studiază problemele de comportament nu-și pot lămuri faptul că pentru a descrie ceva complex nu este neapărat necesar ceva de asemenea complex, că fenomene complexe pot fi în realitate rezultate ale acțiunii unor mecanisme simple" [2].

Problema constă în a vedea dacă orice fenomen din comportamentul unui creier uman poate fi redus la o îmbinare de pași elementari logici-formali și, invers, dacă elaborînd creieri artificiali a căror comportare rezultă din îmbinarea unor pași elementari logici-formali, se pot obține comportamente care să se apropie cît de cît sensibil de comportamentele creierului uman.

Atît ca structură, cît și ca rezultate practice, programele descrise pînă acum nu dau dreptul să se considere ca rezolvată a doua parte a problemei așa cum a fost formulată mai sus. În particular, în ceea ce privește traducerea automată, nereușita vine de la modul extrem de limitat în care calcula-

[1] „... Fiecărei limbi îi corespunde o *organizare proprie a datelor* experienței" (unei colectivități umane) (André Martinet, *Elemente de lingvistică generală*, Edit. științifică, București, 1970, p. 30).

[2] P.A. Kolers și M. Eden, *Recognizing Patterns*, Studies in Living and Automatic System, M.I.T. Press, Massachusetts, 1968 (după ediția rusă, *Raspoznavanie obrazov*, Izd. „Mir", 1970, p. 213).

torul poate ține seama de *context*; am adăuga: să țină seama de contextul din textul original și să posede un context propriu, să-i zicem „eul" prin care să fie realizat textul tradus. „Traducerea automată" este, pînă în prezent cel puțin, o traducere „mecanică" și, ca atare, nesemnificativă pentru problema pe care o discutăm.

Următorul tip de programe pe care vrem să-l discutăm este *programul euristic*. Situațiile pe care le vom analiza se prezintă astfel: într-o mare parte a problemelor pe care trebuie să le rezolve, creierul uman are de ales o soluție — se presupune, bineînțeles, o soluție bună, cea optimă dacă se poate — dintr-o mulțime atît de mare de soluții posibile mai mult sau mai puțin necorespunzătoare, încît orice încercare de verificare „la rînd" a diverselor soluții pentru a o găsi pe cea bună este de la bun început imposibilă. Cu toate acestea, nenumărate astfel de probleme sînt în mod curent și în marea majoritate a cazurilor rezolvate cu succes, datorită proprietății pe care o posedă creierul uman în funcționarea sa, și anume de a înlătura repede, „dintr-o privire", masive întregi de soluții posibile și de a-și restrînge căutarea la un număr redus de soluții rațional din punctul de vedere al timpului avut la dispoziție. Procedeul prin care în rezolvarea unei probleme nu se iau în considerare la rînd toate soluțiile posibile, iar alegerea soluțiilor care se iau în considerare se face pe baza unei selecții prealabile, bazate pe alte considerente decît verificarea efectivă a soluțiilor, se numește *procedeu euristic*. Evident, datorită acestei selecții prealabile, printre soluțiile neluate în considerare, lăsate deoparte, poate să se nimerească și soluția optimă! Eficiența unui procedeu euristic este cu atît mai mare, cu cît probabilitatea unei astfel de situații este mai mică la același timp consumat pentru rezolvarea problemei.

„O *euristică* (o *regulă euristică*, o *metodă euristică*) este o regulă de filare, o stratagemă, un truc, o simplificare sau orice alt fel de schemă care limitează în mod drastic căutarea soluțiilor în probleme cu spații de soluții foarte mari. Euristicele nu garantează soluțiile optime; în fapt, ele nu asigură nici măcar găsirea vreunei soluții, *tot ceea ce se poate spune despre o euristică folositoare este că ea asigură în majoritatea cazurilor soluții care sînt suficient de bune*. Un *program euristic* este un program care folosește diferite euristici în rezolvarea problemelor complexe" [1].

Elaborarea programelor euristice și rezolvarea unor probleme cu astfel de programe a constituit pasul major prin care s-a demonstrat, după unii autori, posibilitatea realizării unor procese de gîndire reale cu ajutorul creierilor artificiali, s-a demonstrat existența inteligenței artificiale, care, chiar dacă sub unele aspecte se deosebește de gîndirea naturală, ar fi în esență identică cu ea[2]. Mai mult, odată cu aceasta a apărut în psihologie linia de cercetare potrivit căreia studiul gîndirii umane, studiul psihologiei umane poate și trebuie efectuat prin modelarea pe calculator a psihologiei comportamentului. Tehnicile folosite permit „să combinăm rigoarea și obiectivitatea caracteristice behaviorismului cu valoarea datelor și cu considerarea comportărilor complexe caracteristice mișcării gestalturilor. În fine, trăsătura lor principală nu constă în aceea că ele furnizează un cadru general pentru înțelegerea comportamentului în situațiile de rezolvare de probleme (deși ele fac și aceasta), ci în aceea că pun în evidență cu mare claritate că *comportarea liberă a unui om rezonabil de inteligent poate fi înțeleasă ca fiind produsul unui set complex, dar finit și determinat de legi*" [3].

Pentru a vedea pe ce se bazează afirmația de mai sus și totodată pentru a-i putea decela limitele, vom descrie două programe euristice dintre cele mai semnificative pentru problema pe care o discutăm.

Primul program la care ne referim este cel menit să pună calculatorul în situația de a demonstra teorema, așa-numitul program LT, The Logic Theory Machine [4]. Programul a

[1] *Computers and Thought*, ed. E.A. Feigenbaum și J. Feldman, McGraw-Hill Book Comp., New York, 1963, p. 6.

[2] „Am învățat că un calculator este un manipulator general de simboluri și nu un simplu manipulator de numere. În esență, un calculator este un transformator de chip *(transformer of patterns)*. Prin scheme corespunzătoare, în principal prin logica sa de adresare, acestor chipuri *(patterns)* li se pot da toate caracteristicile simbolurilor lingvistice. Ele pot fi copiate și formate în expresii. Începînd cu lucrarea lui Turing din mijlocul deceniului al patrulea, noi știam acest lucru în mod abstract, dar abia acum calculatoarele au devenit suficient de puternice pentru a ne da posibilitatea să cercetăm în fapt posibilitățile sistemelor complexe de manipulare a simbolurilor" (A. Newell și H.A. Simon, *GPS, a Program that simulates human Thought*, în Computers and Thought, p. 283).

[3] A. Newell și H.A. Simon, *op. cit.*, p. 293 (subl. ns.).

[4] A. Newell, J.C. Shaw, H.A. Simon, *Empirical explorations with the logic theory machine : a case study in heuristics*, în *Computers and Thought*, p. 109—133.

permis să se găsească demonstrarea unor teoreme de logică simbolică, în particular teoreme din capitolul al doilea al lucrării lui Whitehead și Russell *Principia mathematica*. Logica simbolică constituie un sistem matematic formalizat, care dă expresiile corecte (adică acelea care nu contravin axiomelor admise) formate din combinări ale simbolurilor de bază. La fundamentul logicii simbolice stau cinci axiome, cinci expresii admise inițial a fi adevărate, iar restul expresiilor adevărate se obțin din aceste cinci axiome prin demonstrare cu ajutorul a trei reguli de inducție: *substituția, detașarea* și *înlănțuirea*. O expresie este o legătură între simboluri făcută cu ajutorul conectivelor [1], de exemplu $p + (q + r) \rightarrow (p + q) + r$, unde semnul $\rightarrow$ semnifică „implică".

Prin „substituție" se demonstrează că o teoremă este adevărată dacă, substituind peste tot variabilele sau conectivele, se ajunge la o altă teoremă deja demonstrată ca fiind adevărată. Prin „detașare" se găsește întîi o legătură între teorema P în lucru și o alta (o subproblemă Q) de exemplu: „Q implică P". Pe urmă se detașează Q, adică se încearcă demonstrarea lui Q. Dacă aceasta se obține, se obține implicit și demonstrarea teoremei inițiale, deoarece s-a găsit în prealabil că Q implică P. „Înlănțuirea" extinde procedeul detașării pe cîțiva pași, de exemplu, dacă trebuie demonstrat „P implică R", se caută întîi o teoremă demonstrată, de exemplu „P implică Q", și pe urmă se caută demonstrarea unei noi probleme, și anume „Q implică R". Datorită proprietății tranzitive a lui „implică", se obține demonstrația dorită, adică „P implică R". Rezolvarea directă a demonstrațiilor, fără folosirea vreunui procedeu euristic, ar fi verificarea justeței tuturor expresiilor ce se pot obține plecînd de la expresiile inițiale, lucru care devine prohibitiv datorită timpului enorm necesar rezolvării (permutările și combinările logice care pot rezulta din șase propoziții duc la 400 de trilioane de table de adevăr!).

Programul LT nu pornește de la axiome folosind regulile amintite pentru a deduce toate expresiile și a vedea dacă expresia de demonstrat este corectă (calea directă), ci *invers* „de la coadă spre cap". În program sînt incluse axiomele și toate teoremele pe care mașina izbutește să le demonstreze (pe măsură ce le demonstrează). Conform programului, mașina verifică în primă instanță dacă teorema care urmează

[1] „Conectivele" sînt legi de compoziție.

să fie demonstrată la rînd nu este printre cele gata demonstrate, apoi, dacă nu se poate ajunge la ea consecutiv prin substituție, prin detașare și prin înlănțuire, toate teoremele și problemele care se rezolvă sau se atacă în cursul acestui proces sînt introduse la rîndul lor pe lista teoremelor și a subproblemelor.

Toată „puterea" programului LT constă în aceea că acesta poate fi aplicat și subproblemelor, în faptul că LT se poate chema el însuși ca subrutină.

În cadrul acestui program apare un proces care are ceva dintr-un proces teleologic, deoarece se construiesc ierarhii de scopuri și subscopuri [1].

Într-adevăr, programul acționează ca un program în cuiburi în felul următor (fig. 49):

1) Ia problema la rînd de pe lista subproblemelor:
   1.a. nu mai sînt probleme — sfîrșit — nereușită finală;
   1.b. există o problemă — treci la 2.
2) Ia metoda la rînd din cele trei metode de bază:
   2.a. nu mai sînt metode — du-te la 1:
   2.b. sînt metode — treci la 3.
3) Ia termenul la rînd din lista de axiome și de teoreme demonstrate anterior:
   3.a. nu mai sînt axiome și teoreme — du-te la 2;
   3.b. *aplică metoda problemei cu axioma sau teorema aleasă:*
      3.b.1. reușită-sfîrșit, demonstrația este făcută;
      3.b.2. nereușită — du-te la 3;
      3.b.3. dacă apare o subproblemă nouă — du-te la 4.
4) Încearcă metoda substituției la subproblemă:
   4.a. dacă reușește, sfîrșit, demonstrația este făcută;
   4.b. dacă nu reușește, treci subproblema la *coada* listei problemelor și du-te la 3.

După cum se vede, în cadrul programului apar *elemente de învățare* (includerea teoremelor demonstrate pe parcurs pe lista teoremelor de folosit și a subproblemelor întîlnite pe lista subproblemelor de încercat), *elemente de ierarhizare*, abordarea verificărilor într-o ordine dictată de „ponderea"

[1] Marvin Minsky, *Steps toward artificial intelligence*, in *Computers and Thought*, p. 436.

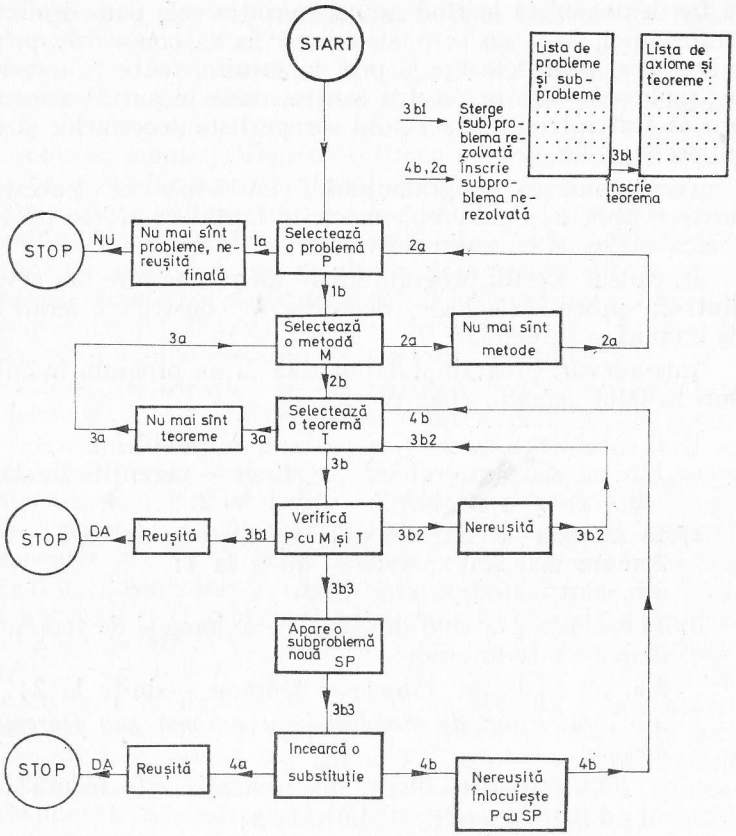


Fig. 49 — Organigrama programului „în cuiburi", folosit în automatul de demonstrat teoreme.

mijloacelor, *elemente de comportare euristică* (verificarea nu se face „plat", ci selectiv). Pus să lucreze, programul a demonstrat într-adevăr o serie întreagă de teoreme ale capitolului al doilea din *Principia mathematica*, unele într-un timp sensibil mai scurt decît cel necesar unui student bine pregătit. În alte cazuri, epuizînd timpul admis pentru o teoremă sau epuizînd capacitatea memoriei, răspunsul a fost negativ (pentru unele teoreme a fot nevoie de aplicarea a 34 100 de subrutine, fiecare durînd 2 pînă la 3 sutimi de secundă, la o viteză de circa un milion de biți de secundă!, ceea ce s-a

apropiat de limita capacității de memorie a calculatorului folosit) [1].

Cu toată complexitatea și abilitatea programului, cu toate elementele de „inteligență" pe care le manifestă, programul de care am vorbit nu este în structura sa fundamentală „nimic mai mult decît o rețea de căutări în formă de fagure prin paginile memoriei" [2] și, ca atare, cu greu ar putea fi numit „inteligență artificială".

Programele cele mai elaborate și mai sofisticate care au pretins și pretind locul de frunte printre programele ce demonstrează realitatea inteligenței artificiale, a acelei inteligențe artificiale care nu se mărginește doar la a rezolva aceleași probleme pe care le rezolvă rațiunea umană și care simulează inteligența naturală în structura sa — sînt programele de șah. Un calculator electronic înzestrat cu un astfel de program devine un creier artificial care joacă șah, un creier artificial care desfășoară abilitatea și strategia pe care o implică acest joc.

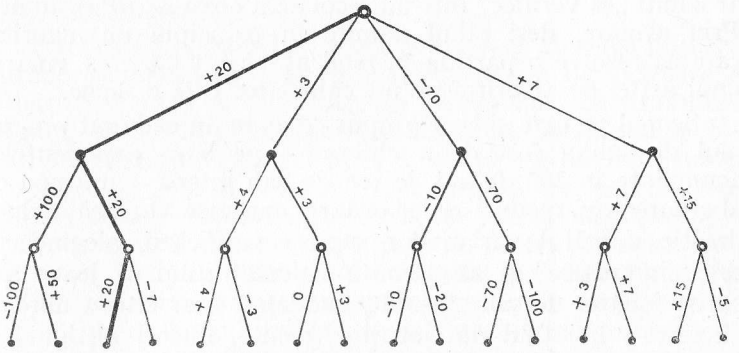


Fig. 50 — „Arbore" de căutare în jocul de șah.

Să considerăm o poziție oarecare din care urmează să joace „albul" (pozițiile în care este rîndul albului să joace le notăm cu un cerc alb, iar cele din care urmează să joace „negrul" cu un cerc plin, fig. 50). Fiecare din alternativele

[1] Folosind cu totul un alt procedeu, un algoritm special elaborat, adică un procedeu exhaustiv, Wang și Gilmore au demonstrat toate cele 350 de teoreme logice din *Principia mathematica* în mai puțin de 9 minute de calcul pe un calculator IBM 704! Faptul acesta nu arată decît importanța găsirii unor algoritmi puternic convergenți și nu infirmă nici nu demonstrează nimic referitor la natura și la forța programelor euristice.

[2] Marvin L. Minsky, *op. cit.*, p. 436.

posibile le desemnăm cu o dreaptă care leagă trecerea din poziția inițială în cea următoare; în cazul din figură, la dispoziția „albului" sînt inițial patru alternative. Din fiecare poziție „negrul" poate la rîndul lui trece într-un număr oarecare de poziții, în figură cîte două pentru fiecare poziție, care constituie tot atîtea puncte noi de plecare posibile pentru „alb". Dacă am desena „arborele ramificațiilor" cu toate soluțiile posibile, am ajunge să figurăm toate soluțiile posibile, toate finalurile posibile. Însemnînd cu + (plus) situația în care „albul" cîștigă, cu — (minus) cea în care acesta pierde și cu 0 remiza, am putea, în principiu, determina care este alegerea de făcut la fiecare pas pentru a obține un rezultat dorit. Spunem în principiu, deoarece, după o evaluare a lui Shannon, într-o partidă de șah alegerea trebuie făcută pentru cel puțin 10^{120} (zece urmat de 120 de zerouri!) drumuri diferite! Nici un fel de calculator, prezent sau imaginabil, nu ar putea face față unei astfel de sarcini; lucrînd cu o viteză de 1 miliard de pași pe secundă, calculatorul ar izbuti „să verifice" într-un secol abia circa $3 \cdot 10^9$ drumuri! Prin urmare, deși șahul admite în principiu un algoritm care să rezolve o partidă în mod absolut, fără greș, rularea unui astfel de algoritm pe un calculator este o iluzie.

Scopul pe care și l-au propus cei care au elaborat programul de șah a fost de a elabora — pe baza experiențelor acumulate în 200 de ani de joc de șah intens — un mod de abordare sau moduri de abordare euristice care să reducă drastic numărul variantelor supuse verificării, alegînd pe cele „interesate" și să permită calculatorului să joace șah ca un jucător de șah obișnuit, analizînd doar cîteva mișcări „înainte", învățînd din jocurile trecute, uneori cîștigînd și uneori pierzînd partide. Trebuie să spunem de la bun început că astfel de programe au fost elaborate, calculatoarele au jucat și continuă să joace șah și că acum un deceniu exista o mare încredere în privința posibilităților imediate de ridicare a creierilor artificiali pînă la nivelul marilor maeștri [1], încredere înlocuită în ultimul timp cu constatarea că rezultatele sînt deocamdată modeste [1]. Pe noi ne interesează însă latura principială; de la interpretarea acestor programe au pornit afirmațiile cele mai categorice despre caracterul mecanicist al inteligenței umane[2]; cu referire la aceste programe au fost efectuate experiențe speciale asupra desfășurării gîndirii umane în timpul partidelor de șah pentru a putea pune în față *experimental* inteligența umană și inteligența artificială de acest tip, singura dealtfel elaborată pînă astăzi[3].

Jocul de șah, ca și alte probleme (care nu sînt de loc jocuri) strategice, economice, administrative, admite, prin urmare, un arbore imens de soluții logice posibile. *Programul euristic rezolvă problema desprinzînd spre analiză numai unele părți ale rețelei de soluții, părți esențiale din punctul de vedere al căutării soluției adecvate.* Eficacitatea programului constă în gradul în care el „știe" să facă această desprindere. Extragerea părților importante ale rețelei de posibilități logice se face *prin folosirea unor procedee speciale de deplasare pe rețea* și *prin modurile de evaluare a deplasărilor, evaluări care dirijează căutarea.*

Structura programelor de șah își bazează alegerea mișcării optime pe aplicarea unor principii generale de evaluare a situației. Pentru a se ajunge la o evaluare de ansamblu se pornește de la evaluarea figurilor aflate la dispoziție (figurile au diferite „valori" între 1 și 10; se disting „valori absolute" și „valori relative" care rezultă din poziția concretă a figurii respective) și de la evaluarea mișcărilor posibile, a naturii mișcării care rezultă pentru adversar etc. Un astfel de tip de evaluare de ansamblu se vede în figura 50, în care se indică și mișcarea optimă pe care o alege mașina. Cifrele de-a lungul liniilor indică evaluarea mișcării din „punctul de vedere" al „albului": cu cît cifra este mai mare, cu atît poziția rezultată este mai bună pentru acesta. Bineînțeles, pentru „negru" situația se prezintă invers: mișcarea

[1] „... Dr. Samuel (autorul unuia dintre cele mai interesante programe de șah. — E.K.) este înclinat să creadă că, dacă am avea la dispoziție un calculator cu o memorie substanțial mai mare și am cheltui încă cîțiva ani pentru antrenarea acestuia, programul ar deveni invincibil de către om dacă pentru o mișcare s-ar acorda cinci minute (D.G. Fink, *Computers and the human mind*, Doubleday & Comp., New York, 1966, p. 245).

[1] Spre deosebire de programele altor jocuri, care „joacă partide excelente" datorită posibilității unei analize riguroase și amănunțite a unor ramificații relativ foarte mari, „partidele jucate de programele de șah sînt doar modeste" (J.R. Slagle, *„Artificial Inteligence : the heuristic programming approache"*, McGraw Hill Book Comp., New York , 1971, după ediția rusă, p. 53).

[2] „Programele euristice au drept bază teoretică reprezentările despre activitatea creatoare a omului așa cum s-au format în cadrul psihologiei științifice" (din prefața la ediția rusă a cărții lui J.R. Slagle, p. 5).

[3] O.I. Tihomirov, *Struktura mîslitelnoi deitelnosti cioloveka*, Izd. Mosk. Universiteta, Moskva, 1969.

cea mai avantajoasă pentru el este cea care dă o valoare minimă pentru „alb", de unde și criteriul de alegere a mișcărilor, „procedeul minimax", adică procedeul în care albul alege mișcarea întîi și a treia, căutînd să maximalizeze punctajul, ținînd seama însă că în mișcarea sa (mișcarea a doua) „negrul" va alege varianta care dă minimum de puncte „albului". O astfel de strategie se dovedește greoaie și puțin eficientă [1]; „tatonarea" se face uniform în rețea („în lățime") și puțin „adînc" (doar pînă la a treia mișcare, numărul variantelor astfel probate crescînd foarte mult). Dezvoltarea ulterioară a programelor a introdus cercetarea rețelei „în adîncime", și anume numai pe unele ramuri, pe acelea pe care se întîlnesc situații deosebit de avantajoase (luarea pieselor adversarului, atacarea regelui, mișcare forțată pentru adversar etc.). În figura 51 se poate vedea cum arată un astfel de „arbore de tatonare". Alegerea unei ramuri față de alta pentru o cercetare mai „adîncă" implică folosirea unor procedee euristice de „evaluare" a ramurilor. Introducerea unor procedee euristice mai puternice a dus la elaborarea unui program

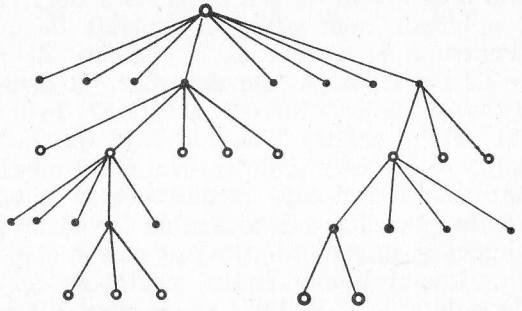


Fig. 51 — „Arborele" unuia dintre programele euristice de jucat șah.

în care mișcarea este analizată simultan din punctul de vedere al mai multor „scopuri", rezultatele analizei formînd un *vector*, în care unele ramuri sînt numere (cînd evaluarea

[1] Norbert Wiener, în lucrarea sa *Cibernetica* (Edit. științifică, București, 1966, p. 219), a văzut clar, încă în prima ediție din 1948, posibilitățile limitate ale unui eventual program de șah bazat pe procedeul minimax: „Probabil că ea (mașina) ar cîștiga împotriva unui jucător prost sau neatent și aproape sigur că ar pierde față de un jucător atent cu un mare grad de competență".

se face valoric) sau afirmații (da, nu), fiecare ramură indicînd situația mișcării din punctul de vedere al scopului respectiv. Organizarea de bază a programului respectiv[1] arată astfel:

Specificarea scopului	Generatorul de mișcări	Evaluarea statică	Generatorul de analiză
Securitatea regelui			
Balanța materială			
Controlul centrului			
Dezvoltarea atacului			
Atacul la rege			
Promovarea			

Fiecare „scop" are asociate un generator de mișcări, o rutină de apreciere statică a situației și un generator de analiză a mișcărilor. În plus, programul mai conține două subrutine comune, rutina pentru obținerea unei evaluări statice integrale pentru o mișcare propusă și alta care dă procedeul final de alegere. Cînd se pornește la alegerea mișcării la rînd, se începe prin a se analiza situația, analiză din care rezultă care anume „scopuri" urmează să fie probate în poziția respectivă. Urmează probarea scopurilor desprinse ca interesante — se generează mișcările și se analizează rezultatele — și în ansamblu se obține o tablă de date, vectorul situației, iar din analiza finală a acestuia se hotărăște mișcarea de efectuat.

După cum se vede, programul care rezultă nu este deloc simplu. Totuși el a fost complicat și mai mult prin introducerea în calculator (în programul calculatorului) a capacității de învățare, întîi în formă primară, primitivă, pe urmă

[1] *Programul NSS — Newell, Shaw, Simon.*

într-o formă mai elaborată. Primul pas făcut a fost reținerea în memorie a „analizelor incursiunilor" efectuate în diferitele poziții. La reîntîlnirea poziției, calculatorul nu reia analiza, ci folosește rezultatele analizei deja efectuate. Procedeul acesta cu greu poate fi numit „învățare"; dealtfel, ținînd seama de memoria finită a calculatorului, el „se saturează" repede. Din acest motiv s-au introdus criterii suplimentare de selectare a ceea ce merită să fie reținut în memorie, după care în program s-a introdus o rutină de evaluare a situațiilor după niște parametri comuni, o rutină de „generalizare" a experienței trecute. „Generalizarea" de care vorbim arată astfel: mișcările sînt evaluate cu ajutorul a 16 caracteristici, fiecare avînd o pondere anumită. Două mașini sînt puse să joace între ele: una, „Beta", avînd aceste ponderi fixate, aceleași pe tot timpul jocului, a doua, „Alfa", cu un program de corectare și perfecționare a ponderilor. Dacă mașina „Alfa" cîștigă partida, mașinile sînt puse să joace din nou, mașina Beta cu ponderi fixe, de astă dată însă cu ponderile noi elaborate în jocul precedent de „Alfa", iar mașina „Alfa" joacă în continuare cu programul de corectare a ponderilor. Dacă „Alfa" cîștigă din nou, se repetă procedeul, iar dacă Alfa pierde, programatorul modifică ponderile pînă mașina devine din nou în stare să cîștige partida cu mașina Beta.

Remarcăm că în timpul acestei confruntări între două calculatoare, dintre care unul îl „învață" pe celălalt, procesul de învățare se desfășoară în interiorul programului, fără ca programatorul să posede o cunoaștere detaliată a ceea ce se întîmplă. Natura îmbunătățirii obținute devine evidentă numai în rezultatul final (în partida efectuată). Nu-i de mirare că Samuel și-a numit programul „un instrument foarte satisfăcător pentru a demonstra modul cum învață o mașină celor care nu cred în această posibilitate" [1].

Prin urmare, creierul artificial joacă șah, învață din experiența trecută generalizată. Dezvoltarea programelor de șah și a altor programe euristice demonstrează capacități de „orientare în situație", de „alegere" a unei soluții sau alta în funcție de „scopul" propus etc.

Pot oare, prin urmare, creierii artificiali să gîndească? «nu, dacă gîndirea este definită ca ceva exclusiv și propriu

[1] D.G. Fink, *Computers and the human mind*, Doubleday and Comp., New York, 1966, p. 256.

uman. În acest caz, orice astfel de comportare a mașinii trebuie numită doar comportare cu asemănare de raționalitate;

nu, dacă se postulează că în esența sa gîndirea este ceva de neînțeles, misterios, mistic;

da, dacă se admite că problema trebuie rezolvată prin *experiențe* și *observații*, prin compararea comportării mașinii cu comportarea omului, de care noi legăm în mod curent noțiunea de „gîndire"» [1].

Să ne adresăm acum experiențelor efectuate pentru a compara *direct experimental* procedeele euristice folosite de jucătorii de șah, mai simplu modul de desfășurare a gîndirii omului în timpul unei partide de șah cu euristica programelor de șah.

Cîteva observații preliminare. Prima, concluzia acestor experiențe, formulată la modul cel mai rezervat, este netă: procesul de gîndire, așa cum se desfășoară el în „adîncurile" creierului, are o altă structură decît cea pe care o realizează creierul artificial potrivit programelor elaborate pînă acum și a dezvoltării acestora așa cum se întrevede. *Euristica umană are o altă structură decît euristica creierilor artificiali* [2]. A doua: deoarece creierul artificial își desfășoară activitatea potrivit unui program elaborat de om, în fond ceea ce se compară este procesul de gîndire așa cum se desfășoară el în „adîncurile" creierului cu modelul sau cu un model al acestui proces de gîndire așa cum se formează el, conștient, în activitatea creierului, în gîndirea umană, și cum este implementat în programul introdus în calculator! A treia: pentru a urmări procesul de gîndire în „adîncurile" creierului, în cadrul experiențelor de care vorbim au fost studiate comportamentele externe obiective (în particular mișcarea ochiului, mișcarea mîinii, rezistența electrică a pielii), aflate în situația de a fi cuplate direct cu activitatea de gîndire a creierului, și numai ca element suplimentar au fost folosite protocoalele experiențelor în care participanții descriu procesele pe care le trăiesc. Primul element care indică în procesul de funcționare al creierului prezența a ceva deosebit de simpla manieră de alegere „impersonală" între

[1] E.A. Feigenbaum și J. Feldman, *Computers and Thought*, McGraw-Hill Book Comp., New York, 1963, p. 2—3.

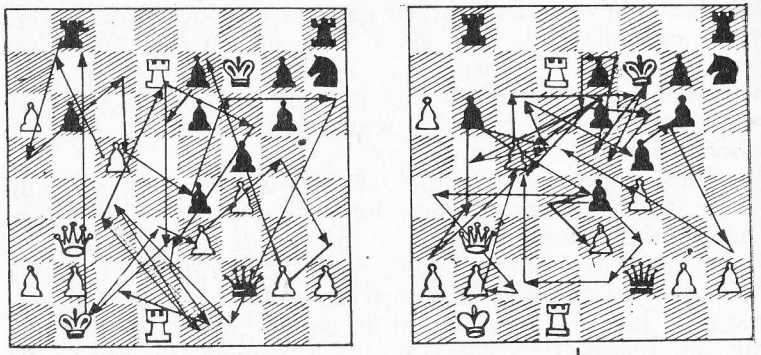
[2] Există, desigur, și euristici comune ca structură mașinii și omului. *Gîndirea umană posedă însă și euristici specifice*, cunoscute pînă astăzi doar în parte.

posibilități îl constituie o comportare măsurabilă obiectiv care a fost înregistrat încă în cadrul experiențelor cu „ghicirea grupului de cartonașe", de care am vorbit cînd am discutat problemele interacțiunii informaționale. După cum cititorul își aduce probabil aminte, pentru a rezolva problema pusă persoana în cauză apăsa pe un buton, formula întrebarea, care avea drept urmare aprinderea unui bec roșu dacă răspunsul era pozitiv sau verde dacă răspunsul era negativ. Elementul deosebit, interesant pus în evidență în cadrul experienței la care ne referim constă în următorul fapt: în timpul experiențelor au fost înregistrate *duratele de menținere a butonului* în stare de apăsare, adică duratele „oprire" ale subiectului asupra *semnificației* răspunsului. Înregistrările făcute au pus în evidență o comportare absolut generală a tuturor celor cu care s-a experimentat, și anume: indiferent de *durata absolută* a apăsărilor, care a variat de la un subiect la altul în raport de unu la cinci (de la circa 0,36 s timp minim la circa 1,26 s timp maxim), *durata de apăsare cînd răspunsul era pozitiv era la fiecare subiect mai mare decît durata de apăsare cînd răspunsul era negativ*, și aceasta în absolut toate situațiile, chiar în acelea în care *cantitatea de informație obținută ca urmare a obținerii răspunsului era egală pentru răspunsul pozitiv și pentru răspunsul negativ*. Prima concluzie, evidentă: reacția deosebită se datorează *semnificației* informației obținute și nu este legată de cantitatea de informație obținută. A doua: subiectul pune întrebarea (apasă butonul) pornind *de la o situație pe care o presupune*; răspunsul pozitiv, semnificînd confirmarea presupunerii, *are o semnificație mai mare și, ca atare, este „prelucrat" mai mult* (generalitatea reacției, timpul extrem de scurt în mod absolut și diferența relativ mică între timpul de apăsare la răspuns „pozitiv" și cel de apăsare la răspuns „negativ", între 5 și 40%, exclud orice posibilitate de atitudine voită). A treia: modul de comportare al gîndirii umane este de verificare „înapoi" a unei *reprezentări globale* a situației și nu încercarea pas de pas, înainte sau înapoi, a rețelei de pași succesivi. Sau cu alte cuvinte: pus să rezolve o problemă, creierul uman nu procedează la o trecere în revistă mecanică a soluțiilor, ci își formulează mai întîi un *scop* și un *plan* de realizare a acestuia și numai după aceea trece la compararea succesivă a planului cu scopul, cercetînd de fiecare dată atît planul, cît și scopul, pînă cînd elaborează decizia de acțiune și trece la efectuarea ei. Desigur, măsurătorile

efectuate în experiențele „cu cartonașe" n-au putut sugera decît concluziile de mai sus. Concluziile au fost întemeiate pe alte experiențe. Le-am menționat însă aici pentru a familiariza pe cititor de la bun început cu linia de gîndire a experiențelor respective și pentru a da o primă schiță a concluziilor la care s-a ajuns.

Experiențele la care ne referim, urmărind să pună în evidență desfășurarea proceselor de gîndire în timpul jocului de șah, au fost executate cu jucători de calificare diferită, de la începători la mari maeștri, în situații de joc efectiv a unor partide de șah și în situații de rezolvare a unor probleme de șah. Jucînd șah, subiectul urmărește situația de pe tabla de șah. Înainte de a hotărî mișcarea pe care urmează s-o facă, subiectul analizează situația, procesul de analiză putînd fi urmărit prin înregistrarea mișcărilor ochiului, efectuate în timpul procesului de analiză. Într-adevăr, subiectul era așezat în fața unui panou mare de șah amplasat vertical, iar mișcările ochiului au fost filmate printr-un mic orificiu practicat în centrul panoului. De la bun început se disting două tipuri de mișcări ale ochiului: un prim tip îl constituie mișcările legate de procesele de asimilare, de percepere și de învățare a poziției: o parcurgere practic la rînd, cu reluări a pozițiilor pieselor de pe panou; un al doilea tip, mișcările legate de analiza situației și a mișcării care urmează să fie făcută, mișcări caracterizate, *în primul rînd*, printr-o restrîngere *de la bun început* a zonei luate în considerare și, *în al doilea rînd*, printr-o trecere succesivă de la considerarea unei situații finale avute în vedere la modurile de a ajunge la aceasta (fig. 52 *a* și *b*). Pentru a elimina de la bun început mișcările legate de perceperea situației, subiectul începe să joace partida, iar filmarea începe de la o anumită mișcare înainte, cînd subiectul cunoaște deja situația de pe panoul de șah.

Filmarea ochiului este un procedeu costisitor și greu, datorită numărului mare de cadre ce se obțin în minutele care se consumă pentru gîndirea unei mișcări. De aceea experiențele au fost repetate cu jucători de șah orbi, care studiază și analizează situația de pe tabla de șah prin pipăirea succesivă a pieselor cu mîna. În acest scop, pe degetul arătător al acestor jucători s-a montat un inel cu un mic bec aprins și fotografiind tabla de șah, s-a înregistrat totodată mișcarea mîinii, adică urmele deplasării becului. *Structura „mișcării mîinii" s-a dovedit identică cu cea a „mișcării ochiului", de unde concluzia că ambele reflectă procesele „interne" din creier*;



a b

Fig. 52 — Mișcarea ochiului în procesul de percepere a unei situații de pe tabla de șah (*a*) și în procesul de rezolvare a unei mutări, în aceeași situație (*b*).

structura mișcărilor nu depinde de organul „extern" care participă nemijlocit la interacțiunea informațională, ci de modul de prelucrare a informației și de elaborare a deciziei.

Analiza cadrelor obținute prin filmarea ochiului și prin fotografierea mîinii au permis stabilirea cu claritate a deosebirilor de mod de abordare, de procedee euristice, dintre gîndirea creierului uman și gîndirea artificială a calculatorului programat de către un creier uman.

Prelucrarea datelor obținute în cursul acestor experiențe a dat în primă instanță următorul „material primar": a) *fixarea într-un cadru a poziției pupilei ochiului* (ne vom referi numai la ochi, la mînă observîndu-se mișcări absolut echivalente) pe un pătrățel al tablei de șah ocupat sau nu de o figură, o astfel de fixare constituind un *element al situației*; b) *durata unei fixări*, măsurată prin numărul de cadre succesive în care ochiul rămînea fixat pe același element al situației, sau, ceea ce este echivalent, *durata fixării unui element al situației*, unitatea de analiză fiind durata unui cadru, adică 0,04 s; c) *succesiunea pătrățelelor fixate de ochi pe un grup de cadre luate la rînd*, formînd *traiectoria mișcării* ochiului.

Analiza traiectoriilor a dus la diferențierea a patru tipuri de mișcări ale ochiului:

1) mișcări care pun în evidență un proces de studiere, de cercetare a situației; ochiul trece de la o figură la un

pătrățel liber (studiul posibilităților figurilor); ochiul trece de la un pătrățel liber spre figuri (studiul situației pătrățelelor libere). Se disting însă două astfel de grupe de mișcări: unele referitoare la studiul situației actuale, a situației așa cum este ea, altele la studiul unei situații virtuale, a unei situații care s-ar obține din situația dată după o mutare, două, trei. După cum vom vedea, ceea ce caracterizează pe jucătorul de șah — și cu cît acesta este mai bun, cu atît lucrul este mai pronunțat — este faptul că analiza începe, de regulă, prin cercetarea uneia sau mai multor situații virtuale și ulterior a situației actuale! Ansamblul mișcărilor ochiului de care vorbim se referă la procesul de stabilire a corelațiilor funcționale dintre figuri și cîmpuri; mișcările nu sînt legate de acțiuni de natură perceptivă, ci de operații de gîndire, de punere în evidență a unor proprietăți neaccesibile direct simțurilor, „funcțiile" figurii puse în evidență pe această cale constituind o reflectare mediată a proprietăților elementelor situației. Ansamblul acestor mișcări a fost denumit de autorul studiului procesul de căutare a soluției;

2) mișcări succesive de la o figură la alta nu după proprietățile funcționale ale acestora și nici în ordinea așezării acestora, ci pe sărite, *selectiv*, mișcările grupînd figurile în ansamble operaționale unificate. Ansamblul unor astfel de mișcări indică formarea unei reprezentări generalizatoare, procesul manifestat în aceste mișcări fiind numit procesul de generalizare a situației;

3) mișcări succesive, repetate de la un element al situației la altul, cu fixații îndelungate pe elementele perechii respective, elementele fiind caracterizate fie prin „asemănarea" lor funcțională, fie prin „concurența" lor funcțională. Aceste mișcări apar în etapa imediat premergătoare luării deciziei și ele caracterizează procesul de verificare a deciziei, procesul în cadrul căruia are loc compararea elementelor ale căror proprietăți au fost stabilite;

4) al patrulea grup de mișcări, nesemnificativ și redus ca număr, îl constituie mișcările întîmplătoare.

Socotim deosebit de important să menționăm observația lui O.K. Tihomirov, autorul experiențelor amintite mai înainte, cu referire la compararea rezultatelor analizelor cadrelor cu protocolul scris de subiect referitor la decurgerea procesului de găsire a soluției. Compararea acestor două „însemnări" arată că *toate* însemnările din protocol pot fi identificate în mișcări corespunzătoare semnificative ale ochiu-

lui, dar că ochiul efectuează și multe alte mișcări, corespunzătoare unor activități neprinse în protocol; materialul cuprins în cadre este mai bogat, informativ vorbind, decît cel din protocol.

În cadrul activității de găsire a unei soluții și de luare a deciziei, locul principal îl are primul proces, procesul de căutare. Acesta este caracterizat prin fazele de desfășurare, prin elementele care intervin în desfășurare și prin modul în care are loc reglajul căutării.

În procesul de căutare se disting cel puțin două faze: una caracteristică începutului activității de căutare și a doua care survine brusc spre sfîrșitul procesului. Parametrii fundamentali ai procesului de căutare sînt așa-numita „zonă de orientare" și modul de variație al acesteia. Prin zonă de orientare se înțelege numărul total al elementelor fixate de-a lungul întregii activități care precedă o decizie, constatîndu-se că *întotdeauna, în toate cazurile, numărul elementelor fixate este mai mic decît numărul elementelor aflate pe tabla de șah.* Modificarea zonei de orientare de-a lungul procesului de căutare, dinamica acestei modificări prezintă ca trăsătură tipică faptul că la un moment dat intervine o bruscă restrîngere a zonei de orientare, restrîngere care coincide cu trecerea procesului de căutare din prima fază în cea de-a doua.

Din cele spuse rezultă că zona de orientare (fig. 53) reprezintă modul în care situația obiectivă de pe tabla de șah este reflectată de subiect.

În structura zonei de orientare poate fi urmărit gradul de adecvare a reflectării, de regulă figurile cu încărcare funcțională mare sînt fixate des și pe durate lungi; cele care într-o situație dată nu au nici o contribuție activă rămîn, de regulă, complet în afara zonei; uneori însă elemente și mai ales mișcări obiectiv puternice rămîn și ele în afara zonei de orientare.

Problema determinării modului în care se constituie și se modifică zona de orientare este de fapt problema determinării euristicii gîndirii umane: modul în care se organizează procesul de dirijare a modificărilor zonei de orientare constituie însuși modul de dirijare a procesului de căutare.

Ce anume caracterizează prima fază? În primul rînd, caracterul nesistematic, neplanificat al căutării, zona de orientare fiind relativ largă. În al doilea rînd, la început se analizează cu precădere mișcările eventuale ale adversarului (trăsătură cu atît mai accentuată, cu cît nivelul jucătorului de

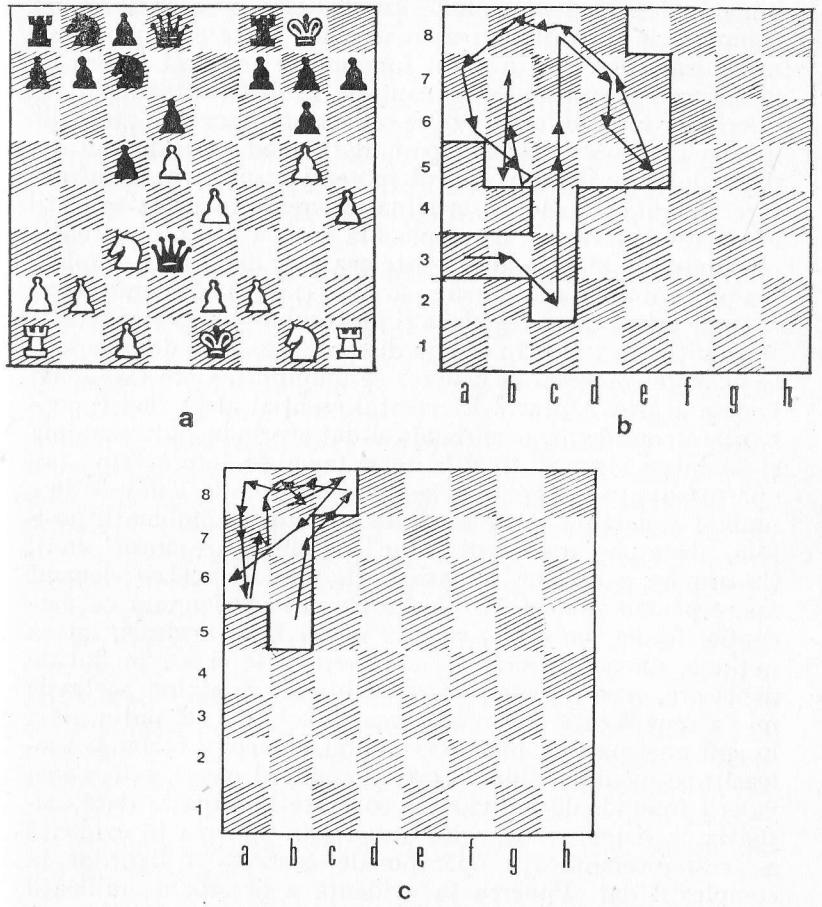


Fig. 53 — „Zona de orientare" și restrîngerea acesteia în cursul procesului de rezolvare. Ultima mișcare a albului Rdl — d3. Urmează negrul. *a* — situația; *b* — zona de orientare în secundele 30—40; *c* — zona de orientare în secundele 34—39.

șah este mai ridicat) și numai pe măsură ce procesul de căutare evoluează începe să predomine considerarea mișcărilor proprii. Analiza posibilităților adversarului precedă în mod evident analiza propriilor posibilități și rezultatele acestei analize sînt, de regulă, acelea care determină elementele cu care va lucra ulterior subiectul. În această fază, subiectul „se

pune în locul adversarului", construiește o ipoteză asupra comportării acestuia. Procesul formării ipotezelor constituie mecanismul de bază a cărui funcționare reglează modul de desfășurare a procesului de căutare. Probabilitatea acordată diferitelor ipoteze formulate se reflectă în frecvența „jucării" ipotezelor respective (ochiul parcurge în mod repetat șirul deplasărilor figurilor din cadrul ipotezei respective). Confruntarea modificării factice, a situației create în urma mișcării efectuate de adversar ca răspuns la decizia luată, cu situația presupusă de ipoteza aleasă este cea care determină amploarea procesului de căutare care urmează: în caz de confirmare, zona de orientare se restrînge și procesul de căutare se reduce substanțial în timp; în caz de discordanță, zona de orientare se mărește, procesul de căutare se amplifică. Care este acum tactica acestei căutări? Elementul esențial al tacticii îl constituie reconsiderarea continuă a situației prin includerea unuia și aceluiași element în diferite sisteme de interacțiune (au apărut situații în care, de exemplu, în timp de 1 min și 46 s unul și același pion este considerat în 20 de combinații posibile, unele cu caracter de „atac", altele de „apărare" etc.). Ca urmare a acestor reconsiderări, unul și același element apare pentru subiect în diferite chipuri (desigur nu ca percepție, forma, culoarea, poziția piesei fiind aceleași; nu ca noțiune, piesa respectivă și caracteristicile ei, ca modul de deplasare, modul de acționare, valoarea, rămînînd aceleași; nu ca semnificație personală, pentru subiect, cel puțin, de-a lungul unei partide piesele rămînînd, subiectiv vorbind, aceleași): se modifică chipul „operațional" al piesei, reflectarea valorii funcționale individuale concrete în situația dată. Situația ca sistem se dezvoltă din și prin punerea în evidență a acestei semnificații operaționale concrete a figurilor în complexul dat. Punerea în evidență a acestor semnificații are loc prin manevrarea mintală a pieselor. *Deosebit de semnificativ este faptul că această manevrare nu se face de-a lungul arborelui de mișcări posibile, ci într-un sens invers*: se presupune o situație viitoare, se manevrează în cadrul acelei situații, se obțin semnificațiile operaționale virtuale și, dacă ele corespund, se trece la manevrarea pieselor din situația actuală pentru a se desprinde semnificațiile operaționale care ar permite trecerea de la situația actuală la cea viitoare, presupusă și dorită, devenită scop. *Situația viitoare gîndită în prima etapă ca mijloc spre scopul final devine în a doua etapă scop, pentru a cărui realizare se caută mijloacele necesare în situația actuală*. Formarea sistemului situațiilor care, după cum a dovedit-o analiza, nu rămîn izolate, ci se grupează și ele în „pachete", reunindu-se în formații „integrate", în cadrul cărora rezultatele analizei dintr-o situație sînt transferate asupra celeilalte, *nu este, prin urmare, un rezultat al reunirii pasive a unor serii de elemente, ci al acționării cu aceste elemente, al mînuirii active a elementelor, mînuire prin care se pun în evidență proprietățile funcționale ale elementelor.*

Iată că regăsim aici, obținută prin măsurători obiective, psihologice, o trăsătură ce reprezintă reluarea pe un alt plan a unei caracteristici fundamentale a formațiilor active, de care ne-am ocupat cînd am vorbit despre reacția inversă și despre finalitate, ca și atunci cînd am vorbit despre interacțiunea informațională. Pentru „a afla", formația activă „întreabă". „Întrebarea" are un *caracter de acțiune*, iar ca rezultat apare și este sesizată „reacția". Amintim: sistemul nervos motor se dezvoltă înaintea sistemului nervos senzorial; ca urmare a acțiunii sistemului nervos motor asupra mediului și a reacției obținute din mediu, se dezvoltă sistemul nervos senzorial, care își subordonează în cele din urmă sistemul nervos motor.

În momentul în care a fost formulată și a fost aleasă ipoteza, în desfășurarea procesului de căutare intervine a doua fază, caracterizată printr-o bruscă restrîngere a zonei de orientare, printr-o structură mult mai sistematică și mai orientată a căutării: intervine verificarea ipotezei. Dacă aceasta rezistă la verificare, se ia decizia. Dacă nu, se reia procesul de căutare pentru formularea unei ipoteze ș.a.m.d.

Rezumînd, în procesul de elaborare a deciziei putem desprinde următoarele:

— se elaborează și se desprinde o situație viitoare virtuală, se elaborează *reflectarea* unei situații viitoare;

— se analizează mișcările posibile în situația virtuală, stabilindu-se proprietățile figurilor în situația virtuală, se realizează momentul cognitiv al situației virtuale;

— se analizează situația viitoare în perspectiva scopului final, cu alte cuvinte se realizează momentul pragmatic al situației virtuale;

— se ia decizia de a se încerca realizarea acestei situații. Situația virtuală devine scop, figurile cu proprietățile din situația viitoare devin necesități;

— începe căutarea mijloacelor de realizare a acestor necesități, efectuîndu-se un proces asemănător celui de mai sus, de astă dată obiectul analizei fiind căile de trecere de la situația actuală la cea virtuală [1].

După cum se vede, întregul proces al luării deciziei decurge sub forma modelării prin interacțiune informațională a evoluției situației mediului, în care apare în tot momentul ca element fundamental *formația activă ca ceva contrapus mediului*. În cazul particular de care vorbim, formația activă se contrapune celeilalte formații active, punîndu-se succesiv „în locul ei" și pe „locul propriu". În fapt, în cadrul acestei substituiri, jucătorul de șah, formația activă în general, nu se pune în „locul adversarului", considerîndu-l pe acesta ca pe o mașină abstractă sau pur și simplu ca pe o mașină de calcul logico-formală, ci ca pe un tot: cu „nervi", cu „dorinți", cu „oboseală" sau cu „vivacitate", cu „trăsături specifice," cu „înclinații" etc. Mai mult, și în jocul de șah și cu atît mai mult în „jocul" politic, economic, strategic punerea „în locul adversarului" capătă forma particulară a creării unor împrejurări în care adversarul să fie indus să judece așa cum dorește și-i convine formației active care întreprinde acțiunea.

Pentru formația activă, cîmpul posibilităților nu este niciodată ceva dat, fixat, asemenea situații constituie cazuri cu totul particulare. „Cîmpul posibilităților" constituie o selecție din cîmpul obiectiv, și anume o *selecție activă*, în sensul că formația ia în considerare și cîmpul care ar rezulta ca urmare a unor acțiuni eventuale; tocmai acest caracter *activ* al selecției este cel care în fapt „deschide" cîmpul posibilităților.

Aici am vrea să remarcăm următorul lucru: în mod curent principala obiecție care se aduce afirmației că „creierii artificiali gîndesc" este că un calculator nu face decît exact

[1] În analiza noastră cu privire la raporturile creier uman—creier artificial ne-am referit doar la una dintre lucrările despre metodele euristice, „deoarece, în cercetările menționate, metodele euristice nu sînt examinate din punctul de vedere al produsului final al rezolvării (descoperirea noului), ci din punctul de vedere al organizării procesului propriu-zis de obținere a acestui produs final" (I.N. Kuliutkin, *Metode euristice în structura rezolvării de probleme*, Edit. didactică și pedagogică, București, 1974, p. 25). Am remarca în treacăt că în cartea amintită autorul are, după părerea noastră, o poziție „neutralistă" în problema la care ne referim, judecînd după modul cum sînt prezentate diversele păreri referitoare la euristici, inclusiv la cele cibernetice.

ceea ce i se indică prin program să facă. Replica este că și „o ființă umană poate gîndi, învăța și crea, în virtutea faptului că programul pe care ereditatea biologică i-l conferă, împreună cu modificările acestuia datorate interacțiunilor de după naștere cu mediul, îl înzestrează cu capacitatea de a gîndi, învăța și crea" [1]. Calculatorul însă execută *literalmente* ceea ce i se indică să execute, chiar dacă programul este extrem de complex și de condiționat în numeroase locuri de rezultatul interacțiunii cu mediul. Dacă prin program biologic modificat ca urmare a interacțiunilor cu mediul se înțelege doar o restrîngere a posibilităților de alegere, argumentul nu stă în picioare, deoarece ființa umană nu urmează *literalmente* un program preimpus. Dacă se înțelege însă că ființa umană face ceea ce face pentru că „așa stă scris în programul ei", atunci afirmația nu constituie decît o formă modernă, „cibernetică", de fatalism, vorba lui Jacques Fatalistul, care se adresează precum urmează unei femei care a căzut de pe catîr ca urmare a faptului că a „repezit-o nițel" bărbatu-său, felcerul: „Lasă, dragă, nu-i nici vina ta, nici vina domnului doctor, nici vina mea și nici a stăpînului meu: stătea scris ca astăzi, pe drumul ăsta, la ora asta, domnul doctor să fie un flecar, stăpînu-meu și eu să fim doi ursuzi, dumneata să ai o vînătaie la cap și să ți se vadă curul..." [2].

Toată problema este dacă s-a elaborat sau se poate elabora un calculator, un creier artificial, prevăzut cu un astfel de program încît în interacțiunea sa cu mediul să se constituie, să apară o alegere reală, repetăm o alegere reală, adică o alegere relativ condiționată, nici preimpusă, dar nici „absolut" liberă. Or, alegerea reală implică un „eu" din al cărui punct de vedere să se efectueze alegerea, adică „ceva" care să se contrapună „ca atare" și „ca un tot" restului.

Nu s-ar putea spune că nu s-au imaginat și construit calculatoare prevăzute cu astfel de programe încît în funcționarea acestora să apară, să se constituie „ceva" ce ar aminti de ceea ce numim „eu" [3]. În cadrul unui astfel de dispozitiv denumit „giromat", spre a-l deosebi de „automat", funcționarea lui nu se face după un arbore (graf) al compor-

[1] E.A. Feigenbaum și J. Feldman, *Computers and Thought*, McGraw Hill Book Comp., New York, 1963, p. 3—4.

[2] Denis Diderot, *Romane (Călugărița, Nepotul lui Rameau, Jacques Fatalistul)*, Edit. pentru literatură universală, București, 1963, p. 334.

[3] D.A. Pospelov și V.N. Pușkin, *Mîșlenie i avtomatî*, Izd. „Sovetkoe radio", Moskva, 1972.

tării (în care *vîrfurile* constituie *situațiile*, iar *liniile care unesc vîrfurile sînt trecerile* dintr-o situație în alta), ci după un program în care vîrfurile sînt constituite de *elementele situației inițiale* și, respectiv, *finale*, iar liniile care le reunesc de *relațiile care sînt stabilite* între aceste elemente. Giromatul este prevăzut cu blocuri de prelucrare a informației, care provine de la un număr de traductori de asemenea manieră încît să elaboreze un „model informațional intern al situației problematice", o transpunere în simboluri a acesteia, „extrasă" din situația reală, potrivit regulilor date de program. Giromatul poate fi construit ca atare sau programat pe un calculator universal cu un program semantic care conduce la elaborarea acestui „model informațional" astfel ca să se obțină simularea activității creierului ca organ care elaborează un model intern al situației externe.

În cadrul discuției pe care o purtăm nu interesează că acest tip de program (de calculator giromat, semantic) s-a dovedit în unele cazuri, de exemplu dispeceratul traficului unui mare port, mai eficient decît alte programe „clasice", ci afirmația că el constituie un program care duce la constituirea a ceva care poate fi numit „eu", „eu" care își construiește „un model informațional intern al situației problematice externe" și acționează potrivit „raportării sale (a eului) la aceasta" și că, prin urmare, el realizează structura psihologică a unor procese de gîndire. Este drept că autorii au o anumită rezervă, și anume ei subliniază că programul „giromat" lucrează cu un limbaj superior celor „automate", dar nu încă de nivelul limbii umane. Atingerea acestui nivel, întrevăzută de autori ca posibilă, ar duce la realizarea în general a proceselor de gîndire pe calculator sau, cu alte cuvinte (autorii nu o afirmă explicit) la identificarea creierului artificial cu cel uman. Aici este cazul să reamintim caracterizarea limbii de către A. Martinez: „Fiecărei limbi îi corespunde o organizare proprie a datelor experiențelor unei comunități umane"; și mai departe: deși „nimeni n-are impresia că limba pe care o vorbește se schimbă în timpul vieții lui sau că diferitele generații contemporane nu se exprimă uniform..., este totuși evident că orice limbă se schimbă în orice clipă"[1]. Prin urmare, pentru atingerea acestui nivel în cadrul unui limbaj artificial pentru calculator, ar trebui formalizată *exhaustiv* toată organizarea experienței *în continuă evoluție* a unei întregi comunități umane de dimensiunea unei națiuni, deoarece pînă în prezent, și deocamdată nici în perspectivă științifică, nici un calculator, inclusiv giromatul, nu lucrează și nu poate lucra *în principiu* decît cu un limbaj riguros formalizat, care nu admite în nici un moment nici cea mai mică ambiguitate, ceea ce elimină de la bun început evoluția.

[1] A. Martinez, *op. cit.*, p. 222.

Observăm că în cazul programului semantic ne aflăm în fața unui procedeu am zice „reflectat în oglindă" față de cel anterior. Într-adevăr, cînd se discută programele de jucat șah, analogia dintre comportarea mașinii de calcul și creierul uman este forțată prin antropomorfizarea *verbală* a ceea ce efectuează realmente creierul artificial: „criteriul (fie valoric, fie logic) de selecție" era denumit extins „scop", iar „probarea mișcărilor" denumită „mijloace de realizare". Cercetarea psihologică experimentală, pe care am prezentat-o a pus în lumină *conținutul real diferit* al „scopului" sau al „mijloacelor" în situațiile respective.

În acest al doilea caz, forțarea analogiei [1] se face prin „mașinizarea" *verbală* a activității creierului: creierul nu mai elaborează o reflectare a mediului extern și a organismului din care face parte, precum și a raportării acestuia în și la mediu, ci „un model informațional intern al situației problematice externe", din care dispare însă tocmai o caracteristică fundamentală a formației active de a se contrapune și a se integra ca un tot mediului [2]. Odată scos acest element,

[1] Nu discutăm aici valoarea analogiei și a modelelor respective pentru cercetările concrete de psihologie, pentru lămurirea uneia sau a altei laturi a unui proces psihologic concret, aceasta poate fi judecată de specialiștii respectivi. Ne referim numai la poziția de principiu în raportul creier uman—creier artificial.

[2] Limita, granița dintre formația activă și mediu nu este întotdeauna acceptată ca existînd ca atare, obiectiv, în real. În cartea sa *Finite and Infinite Machines*, M. Minsky scrie: „Problema unde se termină mașina propriu-zisă și unde începe mediul acesteia poate fi rezolvată doar prin punerea de acord sau prin postularea unei definiții. Corpul poate fi considerat ca mediu pentru creier sau ficat. Deosebirea dintre o parte esențială a mașinii și modul de aranjare exterioară neesențială a acesteia depinde numai de aprecierea observatorului. Cînd în scopul analizei funcționării unui sistem efectuăm o subdivizare a acestuia, putem să considerăm fiecare parte ca fiind automatul care ne interesează, iar tot restul ca mediu în care funcționează acesta" (p. 19). Din faptul că în scopul analizei putem separa după cum credem că ne este necesar părțile realității într-un fel sau altul, nu rezultă că realitatea nu se diferențiază obiectiv și în sine într-un fel sau altul, că o formație activă nu „știe" și nu „simte" unde se termină ea și unde începe mediul!

greu formalizabil ce-i drept (după noi chiar neformalizabil), dar existent fără îndoială, „identificarea" ulterioară devine, desigur, relativ ușoară [1]. Ne întîlnim aici cu o trăsătură psihologică proprie nouă inginerilor: entuziasmul stîrnit de reușita unui dispozitiv îndeamnă să se denumească performanțele acestuia cu denumiri folosite cu referire la activitatea umană și ulterior, din prea mare admirație pentru performanța realizată, să se dea înțeles de fond asemănării verbale!

Revenind la firul principal al discuției, putem considera ca fiind suficient de bine stabilit *experimental* că în „adîncurile" sale creierul uman lucrează după alte „programe", ne permitem să le spunem așa, decît lucrează creierii artificiali sau, mai exact, că *în creierii artificiali a fost implementată* o a n u m e *logică și* o a n u m e *aritmetică, și anume logica și aritmetica devenite conștiente și care au putut fi formalizate de către creierul uman.*

Posibilitatea și probabilitatea unei *alte* logici și aritmetici interne a creierului uman au fost întrevăzute și argumentate *teoretic* de către John von Neumann în cartea sa scrisă la începutul „erei calculatoarelor". „În prezent am acumulat suficiente dovezi pentru a vedea că limbajul folosit de sistemul nervos central, oricare ar fi acesta, este caracterizat prin mai puțină adîncime logică și aritmetică decît sîntem noi obișnuiți[2]. Următorul fapt constituie un exemplu evident al celor afirmate: retina ochiului uman efectuează o considerabilă reorganizare a imaginii vizuale pe care o percepe ochiul ca atare. Acum această reorganizare [3] este efectuată de retină, sau, pentru a fi mai exact, în punctul de intrare al nervului optic, cu ajutorul a numai trei sinapse succesive, adică în termenii a trei pași logici consecutivi. Caracterul statistic al sistemului de transmitere a mesajelor folosit în aritmetica sis-

[1] Obligativitatea formalizării vine în contradicție ireconciliabilă cu dialectica realului, în particular cu dialectica gîndirii.

[2] Prin „adîncimea logică" se consideră numărul de pași logici succesivi, de operații logice succesive pentru a obține din niște premise concluzia acestora. Prin „adîncime aritmetică" se înțelege precizia inițială a datelor inițiale și a operațiilor efectuate asupra acestora pentru a obține o anumită precizie finală a rezultatului.

[3] După cum se știe, informația de la cele circa 6 000 000 de celule sensibile din retină este comprimată în circa 600 000 de semnale (o comprimare de 10 la 1!) care pornesc pe cele circa 600 000 de fibre nervoase ale nervului optic.

temului nervos central și precizia sa redusă [1] indică totodată că degenerarea de precizie nu poate merge prea adînc în sistemele de transmitere a mesajelor la care ne referim [2]. În consecință, aici există structuri logice diferite de cele cu care sîntem în mod curent obișnuiți în logică și matematică. Ele sînt caracterizate, după cum s-a subliniat mai înainte, prin adîncime logică și aritmetică mai redusă decît cele care sînt folosite în alte circumstanțe similare. Logica și matematica din sistemul nervos central, cînd sînt considerate ca limbaje, trebuie să fie în structura lor esențialmente diferite de limbajele la care se referă experiența noastră de toate zilele [3]... Astfel, formele externe ale matematicii *noastre* nu sînt în mod absolut relevante din punctul de vedere al evaluării a ceea ce ar fi în mod *real* limbajul matematic sau logic folosit de sistemul nervos central. Totuși, cele subliniate mai sus... dovedesc că, oricum ar fi acest sistem, el nu poate să nu fie considerabil diferit de ceea ce noi în mod conștient și explicit considerăm drept matematică"[4]. Înainte de a trece mai departe, am adăuga că în cadrul experiențelor psihologice cu jucătorii de șah au fost puse în evidență deosebiri (și corelații) între modul de decurgere al procesului de gîndire așa cum se reflectă el în mișcarea ochiului sau a mîinii și modul în care acesta se cristalizează în formă verbalizată (fixată în protocoalele scrise de persoanele supuse experienței).

Prin urmare, la o extremitate considerații teoretice din cele mai generale, la cealaltă extremitate rezultate experimentale concrete conduc laolaltă la afirmația că modul de desfășurare al proceselor de gîndire în creier este, cel puțin într-o bună măsură, altul decît cel devenit conștient și implementat

[1] Semnalul este constituit din pachete de impulsuri cu densitatea, cu frecvența mergînd de la un impuls la cîteva sute de impulsuri pe secundă. Deci precizia inițială a semnalului nu este mai bună de cîteva fracțiuni de procent!

[2] Am văzut că „degenerarea de precizie", caracteristică aritmeticii pe care o folosim, cere, pentru a obține precizii finale de ordinul a 1—2 procente, precizii inițiale de ordinul a 10^{-20}, 10^{-24} și chiar mai mult! Acțiunile finale dirijate de sistemul nervos central vădesc precizii de ordinul a 1—2 procente.

[3] Nivelul și structura unui limbaj indică, matematic vorbind, capacitatea acestuia de a descrie un proces; dacă pentru un proces dat se găsește un limbaj care să-l descrie, acesta (procesul) este formalizabil și, ca atare, poate fi transmis calculatorului.

[4] John von Neumann, *The Computer and the Brain*, Yale Univ. Press, New York, 1958, p. 81—82.

în funcționarea creierilor artificiali. Mai mult, în creierii artificiali nu a fost implementat în întregime nici măcar tot modul de desfășurare al proceselor de gîndire devenit conștient, cunoscut pînă în prezent. Creierii artificiali machetează desfășurarea logică deductivă caracteristică logicii formale; creșterea în complexitate a proceselor logice machetate, întreteserea lor, condiționarea lor de rezultatele intermediare și de reacții ale „mediului", ale „externului" la acțiunile efectuate ca consecință a prelucrărilor logice-formale au dus la apariția unor „comportări" complexe cu aspect de „intuiție", „creație", „scop", „personalitate". Prin aceasta înțelegem o asemănare exterioară și nu o reală identitate de natură, deoarece toată această creștere în complexitate nu înlătură, nu depășește caracterul formal mecanic al proceselor din creierii artificiali.

Ajunși aici, se pun în mod legitim cel puțin următoarele două întrebări: prima, care ar fi limita ce ar împiedica, ce s-ar opune ca, mergînd în continuare pe această linie și dezvoltînd în continuare performanțele calculatoarelor și structura programelor, să se ajungă la depășirea acestei trepte și să se facă saltul calitativ spre o gîndire artificială cu structura asemănătoare celei naturale? Și a doua: care anume latură a structurii gîndirii naturale este în prezent realizată ca gîndire artificială și care este rolul acestei laturi în comportamentul general al formației active, al ființei umane în concret?

Pentru a încerca să răspundem la aceste două întrebări trebuie să considerăm mai departe funcțiile sistemului nervos central în dirijarea comportamentului formației active și, în particular, rolul emoțiilor.

Trebuie să spunem de la început că cel puțin o parte, dacă nu marea majoritate, a celor care s-au ocupat și se ocupă cu elaborarea „inteligenței artificiale", au tendința să subestimeze rolul emoțiilor, al sferei afectiv-volitive a conștiinței umane în general și în particular rolul acesteia din urmă în procesul propriu-zis de gîndire, de rezolvare a unei probleme puse în fața creierului uman[1]. Considerăm această subestimare cu totul nejustificată, deoarece prin ea se trece pe un plan secundar acea sferă a conștiinței, a activității sistemului nervos central care are un rol pragmatic *nemijlocit* de valorizare în cadrul interacțiunii informaționale, și anume în stabilirea faptului dacă cele ce se întîmplă sînt „spre binele sau spre răul" formației active.

[1] Pe parcursul lucrării am citat diverse păreri în această privință

Prima problemă pe care am vrea s-o discutăm în legătură cu sfera afectivă este aceea dacă există sau nu motive care să justifice afirmația că procesul de gîndire s-a desprins de sfera afectivă, că, după expresia unor psihologi, „logica rațiunii" s-a desprins și se situează deasupra „logicii sentimentelor".

O astfel de desprindere nu poate fi susținută cu argumente convingătoare, credem noi, după cum nu poate fi susținută nici un fel de „separare pe sertare izolate" a activității creierului unei ființe umane, cu toate aparențele care uneori ar justifica o atare separare; în astfel de cazuri sîntem în fața unor particularități psihologice de comportare și nu în fața structurii, în fața esenței comportamentului uman, recte a funcționării sistemului nervos central uman. Gîndirea nu constituie ultima instanță. « Gîndul însuși nu se naște din alt gînd, ci din sfera motivațională a conștiinței noastre, sferă care cuprinde în ea năzuințele și necesitățile noastre, interesele și mobilurile noastre, emoțiile și afectele noastre. În spatele gîndului stă tendința afectivă și volitivă. Numai ea poate da răspunsul la ultimul „de ce" în analiza gîndirii »[1].

În studiul lui O.K. Tihomirov referitor la structura procesului de gîndire în cadrul rezolvării problemelor pe care le pune jocul de șah, s-au făcut măsurători speciale, menite să pună în evidență rolul emoției. Pentru aceasta, subiecții respectivi erau puși în situația de a rezolva problemele de șah judecînd cu voce tare. Pe o bandă de magnetofon sincron cu desfășurarea „monologului" respectiv, s-au înregistrat și curbele de variație ale rezistenței electrice a pielii, fiind un fapt stabilit că aceasta variază brusc odată cu crearea unei stări de tensiune emoțională. Aceste experiențe au demonstrat nu numai faptul că emoțiile însoțesc procesul de gîndire, ci și faptul că ele au un rol direct în desfășurarea procesului de gîndire, au un rol de „organ de reglaj" al activității de cercetare îndreptate pentru găsirea soluției. Mai mult, emoția și odată cu ea schimbarea sensibilă a structurii procesului de căutare a soluției iau naștere în același timp cu conturarea ipotezei, odată cu încheierea primei faze a procesului de căutare, care precedă sensibil momentul verbalizării soluției,

[1] L.S. Vîgotski, *Izbranîe psihologhiceskie proizvedenia*, Izd. APN, RSFSR, Moskva, 1956, p. 379 (după O.K. Tihomirov, *op. cit.*).

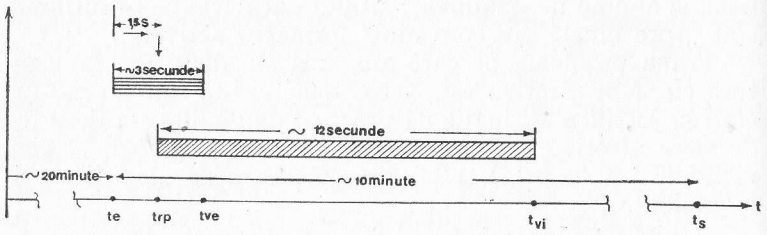


Fig. 54. — Diagramă de corelare a activității emoționale cu activitatea de gîndire în cadrul rezolvării unei probleme de șah. t_e — ivirea emoției (la circa 20 minute de la începerea exercițiului); t_{rp} — modificarea bruscă a rezistenței pielii; $t_e \sim t_{ve}$ — zonă în care se constată înregistrări de exclamații („ah!", „oh"!, „stop", „m-da...m-da", „se pare că am găsit"); $t_{rp} \sim t_{vi}$ — zonă în care se constată verbalizarea ipotezei soluției; înregistrările arată continuarea cercetărilor pînă în momentul t_s, găsirea soluției (la circa 10 min. de la ivirea emoției).

momentul trecerii pe planul conștientului. În diagrama din figura 54 se pot urmări în linii mari, sintetic, rezultatele măsurătorilor făcute. Între ivirea, constituirea stării de tensiune emoțională și modificarea rezistenței electrice a pielii apare un decalaj constant (verificat și cu prilejul altor măsurători) de circa 1,5 s. În raport cu acest moment înregistrat obiectiv, se constată apariția de exclamații ca „ah!", „oh!", „stop", „m-da... m-da", „se pare că am găsit" etc. pe o plajă de circa $\pm$ 1,5 s, exclamațiile apărînd deci *simultan* sau *ceva întîrziat* față de starea de tensiune emoțională. *Verbalizarea soluției* apare întotdeauna *după* instaurarea stării de tensiune emoțională, de la caz la caz, cu 1,5 pînă la 12 s! Deosebit de interesant este faptul că « activitatea verbală în intervalul dintre apariția stării de activație emoțională și indicarea mișcării concrete dovedește continuarea procesului de căutare. Deci activația emoțională apare ca o „vestire" a modului de acțiune ce va fi ales; astfel de stări sînt parcă legate de „sentimentul apropierii soluției"»[1]. Ceea ce se modifică sensibil este *structura* activității de căutare a soluției: scade brusc numărul mișcărilor ce se analizează, scade volumul cercetării, dispar practic încercările de recombinare a unei figuri în diferite sisteme de legătură, dispare activitatea de punere în evidență a noi semnificații. Cu alte cuvinte, se trece de la stadiul de formulare a ipotezei la cel de verificare a

[1] O.K. Tihomirov, *op. cit.*, p. 205.

acesteia și de găsire concretă a soluției care s-o realizeze. Această a doua fază de elaborare a soluției nu este deloc neglijabilă ca timp; la probleme care cereau cam 30 de minute pentru rezolvare tipică era apariția stării emoționale undeva pe lîngă minutul 20 și a soluției cam în minutul 30. De aceea, « apariția acestei stări specifice, care... modifică în măsură însemnată structura activității ulterioare, propunem să fie denumită în mod convențional „soluționarea emoțională a problemei"» [1].

Urmărind mai îndeaproape experiențele de care vorbim, putem conchide, credem, fără a forța prea mult lucrurile că prima parte a activității de căutare a soluției este legată de realizarea *momentului cognitiv* al interacțiunii informaționale, de momentul punerii în evidență a semnificației concrete a pieselor din cadrul situației date. *Apariția emoției* este legată de realizarea *momentului pragmatic* al interacțiunii informaționale, de punerea în evidență a valorii unei anumite semnificații pentru cele urmărite de subiect în cadrul acțiunii respective. Între realizarea momentului pragmatic și elaborarea deciziei se desfășoară activitatea de verificare a valorilor cognitive și pragmatice găsite și de elaborare „tehnică" a soluției. Subliniem că au fost efectuate experiențe de control pentru a verifica dacă emoția are într-adevăr un rol fundamental în procesul de gîndire și nu unul de simplă „însoțitoare", și anume: subiecții au fost rugați să joace „rece", să se întrerupă ori de cîte ori simt că se emoționează. Drept care, în înregistrările variațiilor rezistenței electrice a pielii au dispărut salturile specifice apariției stărilor emoționale, iar din partea subiecților au urmat plîngeri generale că așa este mult mai greu, că așa nu se poate lucra, ca după un timp să apară o „adaptare" sui-generis: exterior și verbalizat emoțiile „nu mai apăreau", variația rezistenței electrice a pielii indica însă reapariția camuflată a acestora, iar procesul de rezolvare a problemelor decurgea iarăși „normal". Subiecții au fost avertizați atunci că vor fi întrerupți ori de cîte ori instrumentul va indica apariția emoției. Drept care în protocolul verbal au apărut invective la adresa instrumentului care, blestematul, te împiedică să gîndești!

Înainte de a încheia considerațiile de ordin psihologic, ne vom referi în cîteva cuvinte la parapsihologie. În primul rînd nu ne-ar mira dacă vreun cititor ar întîlni o afirmație

[1] O.K. Tihomirov, *op. cit.*, p. 210.

de genul că nu poate fi vorba de o asemănare între creierul uman și cel artificial deoarece primul posedă proprietatea P.E.S. [1]. În al doilea rînd, deoarece pentru a-și demonstra „caracterul" științific, parapsihologia a recurs la mijloacele tehnice cele mai moderne (calculatoare electronice, laseri etc.), inclusiv la teza că creierul funcționează ca un calculator electronic. „Afluxul inginerilor și fizicienilor care au adus în parapsihologie metodele lor de cercetare, presupunînd că creierul uman funcționează ca o mașină electronică..., a exercitat o puternică influență..., aceste metode fiind folosite împreună cu metodele tradiționale..." [2].

Care sînt, global vorbind, rezultatele obținute în parapsihologie? Asupra unui singur fapt există consens: statistica fenomenelor paranormale (de tip P.E.S. sau altele) este extrem de săracă. Mai departe, două atitudini complet diferite: a partizanilor parapsihologiei și a oamenilor de știință. Să explicăm aceste două atitudini și implicit să justificăm modul în care au formulat diferențierea.

Prima poziție: „... Există în anumite cercuri științifice tendința de a interpreta drept fantezist și înșelător tot ceea ce nu poate fi verificat statistic sau reprodus într-un cadru experimental. O astfel de atitudine exclude simultan existența fenomenelor unice și aptitudinea de a ne recunoaște propriile limite" [3]. Deci se preconizează o știință a faptului unic.

A doua poziție: „Dacă pentru a mări proporția răspunsurilor favorabile peste proporția care indică un caracter întîmplător este nevoie de un timp prea lung, vom considera că acest aspect, departe de a constitui o dovadă puternică în favoarea P.E.S., reprezintă de fapt o negare a acesteia" [4] Sau: „... Aceste fenomene depind așa de dur de analize

[1] P.E.S., prescurtare pentru percepția extrasenzorială.

[2] V. P. Zintchenko, A. N. Leontiev, B. F. Lomov și A. R. Luria (Moscou), *La parapsychologie en U.R.S.S.: fiction ou realité?*, în „Médicine et hygiène", Geneva, XXXII, nr. 1111, VIII, 1974, p. 1255. Și mai departe: „Unele metode particulare de cercetare dezvoltate în parapsihologie, cu toate că n-au pus în evidență natura fenomenelor parapsihologice, sînt uneori utile în psihofiziologie și în psihologia experimentală".

[3] J. A. Meerloo (Amsterdam), *Sympathie et telepathie*, în „Médicine et hygiène", Geneva, XXXII, nr. 1111, VIII, 1974, p. 1242. Personal, noi considerăm o cinste de a face parte tocmai din această categorie de cercuri științifice!

E. H. Hutten, *Ideile fundamentale ale fizicii*, Edit. enciclopedică română, București, 1970, p. 22.

statistice bazate în ultimă instanță pe subiecți ale căror presupuse capacități sînt straniu de intermitente și pe verificări pe care mulți oameni de știință le consideră ca necorespunzătoare, încît mulți... le consideră ca lipsite de semnificație" [1]. Dar să citățm iarăși „Nici o demistificare n-are efect asupra zeloșilor parapsihologiei. Ca și în religie, în parapsihologie credința este mai puternică decît faptele" [2].

Să revenim însă în domeniul științei. Din cercetarea concretă, psihologică, la care ne-am referit mai înainte și din analiza modului de desfășurare a activității sistemului nervos central rezultă, credem, pe deplin convingător că activitatea de gîndire propriu-zisă constituie un *mijloc* de rezolvare a problemei centrale a oricărei formații active: *aceea de conservare ca atare* în condițiile aleatorii dezorganizatoare ale mediului, mijloc care contribuie la elaborarea verdictului global, pronunțat și reconsiderat încontinuu de orice formație activă: „mi-e bine, mi-e rău"! Cît de puternic este înrădăcinat acest primat al afectului, cît de esențial este el, se poate constata și din atitudinea psihologică generală de respingere, chiar de repulsie, față de manifestările de gîndire rece, „uscată", lipsită de coloratură afectivă, impersonală, ca față de ceva străin umanității!

În sprijinul afirmațiilor de mai sus trebuie să aducem și următoarea constatare fundamentală, credem noi: omul și-a prelungit mîna, mijlocul fundamental de a acționa asupra realității înconjurătoare; omul și-a prelungit creierul, pe linia proceselor de gîndire — mijlocul fundamental de apreciere și de orientare în realitatea înconjurătoare. Toate aceste prelungiri au fost realizate în cadrul procesului de modificare a mediului înconjurător, pentru a mijloci această modificare, pentru *a umaniza* mediul. Drept rezultat s-a modificat atît natura senzorialității cît și natura și sfera afectivității: „... *Simțurile* omului social sînt *altele* decît cele ale omului nesocial; abia prin bogăția obiectual desfășurată a ființei umane se formează sau în parte se și creează pentru prima oară bogăția *simțirii* umane subiective: o ureche muzicală,

[1] I. Asimov, *The human brain*, Signet Sc. Lib. Books, New York, 1965, p. 235.

[2] V. P. Zintchenko, A. N. Léontiev, B. F. Lomov, A. R. Luria, *op. cit.*, p. 1255; I. Asimov este și mai dur (*op. cit.*, p. 235): „...Cei mai zeloși partizani ai P.E.S. sînt tocmai spiritele mistice a căror antipatie față de metodele recunoscute ale analizei științifice îi fac să fie descendenți spirituali ai marilor fakiri din trecut".

un ochi care percepe frumusețea formei etc., pe scurt, simțuri capabile de desfătări omenești și care se afirmă ca forțe esențiale *umane*. Căci nu numai cele cinci simțuri, ci și simțurile așa-zise spirituale, simțurile practice (voința, dragostea etc.), într-un cuvînt simțirea *umană*, natura umană a simțurilor se formează numai grație existenței obiectului *corespunzător*, grație naturii umanizate"[1]. Dar omul nu și-a „prelungit" nici emoțiile și nici afectele; cel puțin pînă în prezent *nu a creat nimic care să i se substituie în domeniul emoțiilor și afectelor. El a dezvoltat, în schimb, o gamă întreagă de mijloace de a-și provoca, lărgi, rafina, îmbogăți emoțiile și afectele*, el și-a creat un întreg *univers emoțional*, a cunoscut și continuă să cunoască un proces de continuă lărgire și îmbogățire a „eului" afectiv, însă de prelungit nu și-a prelungit acest „eu" afectiv, ci a dezvoltat doar mijloacele de deservire a necesităților acestuia.

Una dintre activitățile fundamentale de lărgire și de îmbogățire a „eului" o constituie activitatea artistică, creația artistică și, simultan cu ea, dezvoltarea gustului pentru opera de artă, dezvoltarea capacității de „a gusta" opera artistică, ceea ce este, în felul său, o „creație" sau, mai exact, o „recreare" de operă artistică.

Ajunși aici, să analizăm posibilitățile creierilor artificiali, ale calculatoarelor electronice universale, de „a crea" opere de artă. În acest sens ne vom referi doar la cîteva chestiuni de principiu. Nu intenționăm să pătrundem în disputa dintre diferitele curente estetice, dispută în care se reflectă mai mult efervescența căutării noului și mai puțin (cu toate aparențele contrare) considerarea efectiv științifică a posibilităților reale ale creierilor artificiali.

Astfel, pentru calculatoarele electronice s-au elaborat programele necesare ca pe baza lor acestea să scrie versuri, să compună muzică, să picteze tablouri. Esența acestor programe constă în generarea aleatoare de semne (cuvinte, note, linii, puncte, culori) pentru a asigura caracterul de nou, de neprevăzut, precum și în îmbinarea acestor semne conform unei structuri matematice-logice a versului, a muzicii, a picturii desprinse din analiza operelor unor mari creatori.

Prima observație: „bucățile" astfel obținute sînt, după părerea multora cu bunăvoință, cel mult mediocre. A doua,

[1] K. Marx, F. Engels, *Scrieri din tinerețe*, Edit. politică, București, 1968, p. 580—581.

principială: „creațiile" astfel obținute sînt gustate doar de... creierii naturali umani; creierii artificiali le „debitează" cu cea mai absolută indiferență, cu lipsa de sensibilitate a ceva fără de viață, pentru creierii artificiali aceste opere pur și simplu nu există ca atare, precum dealtfel pentru aceștia nimic nu există ca atare, deoarece ei înșiși nu există ca „eu"! A treia: această situație nu a împiedicat să apară și chiar să prospere numeroase „curente" artistice „computeriste"; explicația trebuind căutată în viața socială și nu în „capacitățile creierilor artificiali". A patra: analiza cu mijloacele matematice a operelor de artă și folosirea rezultatelor acestor analize în elaborarea judecății estetice, pe de o parte, și în programarea calculatoarelor, de pe altă parte, pentru a contribui ca mijloace de lucru la analiza estetică constituie o activitate serioasă asupra căreia merită să ne oprim, mai ales că ne va ajuta să precizăm ceea ce, credem noi, se poate cere și ceea ce nu se poate cere de la creierii artificiali. A cincea: folosirea calculatorului ca instrument de lucru de către un artist în activitatea sa de creație artistică (sinteza unor sonorități specifice de exemplu). Această folosire nu ridică nici o problemă *de principiu*; istoria muzicii a arătat, de exemplu, că un instrument devine „mare" atunci cînd un mare creator îi pune în evidență posibilitățile[1].

Să revenim acum la analiza cu mijloace matematice a operelor de artă și la folosirea calculatoarelor legată de această analiză. Departe de noi de a emite vreo judecată de valoare asupra esteticii informaționale sau de a ne amesteca în disputa curentelor de critică estetică. Nu putem totuși să nu spunem că ni se pare lipsită de temei discutarea posibilităților calculatoarelor în domeniul artistic într-un racursiu care arată în linii mari astfel[2]:

a) se analizează opera unui compozitor și se extrag, se obțin regulile de creație ale acestuia;

[1] Dintotdeauna o latură fundamentală a procesului de creație artistică a fost căutarea de noi mijloace de exprimare. În secolul al XX-lea există tendința netă de a absolutiza această latură, pe de o parte, datorită unei relative „saturări" a posibilităților de a găsi noi moduri de exprimare, „saturare" care la rîndul ei este întreținută de epuizarea rapidă a posibilităților noilor moduri, și pe de altă parte, datorită „pieței societății de consum", care tinde să creeze necesitatea pentru a putea plasa marfa.

[2] După Victor Ernest Maşek, *Artă și matematică*, Edit. politică, București, 1972, p. 179—227, prezentarea „artei permutaționale" în capitolul „Estetică și programare. Arta computerelor".

b) pe baza acestor reguli se întocmesc algoritmi de generare specifici compozitorului respectiv;

c) se programează calculatorul electronic folosind acești algoritmi pentru obținerea variantelor posibile ale unei opere date a compozitorului;

d) și în fine problema: ce facem dacă una din variantele date de creierul artificial apare „optimă" în raport cu „varianta" „aleasă" de compozitor? A cui operă este?

Este greu de hotărît cu care anume obiecții să începem! Cu cele de natură „tehnică" sau cu cele de natură „estetică"? Ce înseamnă variantă și cîte variante se pot produce? Dacă „regulile" extrase sînt foarte strînse, numărul variantelor posibile se va restrînge catastrofal. A. Kolmogorov arată următoarea situație care se produce recurgînd la un program care se bazează doar pe *simpla* corelație dintre notele succesive ale operei: se introduc în memoria calculatorului un număr de, să zicem, o sută de opere muzicale. Se programează calculatorul să aleagă aleatoriu o melodie și „să desprindă" prima notă. Pe urmă să aleagă aleatoriu a doua notă, căutînd aleatoriu o melodie care începe cu aceeași primă notă. A treia notă se ia aleatoriu dintr-un cîntec în care a doua notă este nota care a fost „desprinsă" prin program drept nota a doua. Și așa mai departe. Ceea ce se obține în acest mod aduce prea puțin a „muzică". Dacă se reia experiența cu grupe de două note, „muzica" obținută are o asemănare mai mare cu un produs uman, cîte trei note și mai mult. Cu alte cuvinte, pe măsură ce se iau în considerare corelații mai puternice, structura operei obținute este mai definită. Pînă aici avem de a face doar cu repetarea pentru muzică a experiențelor de care am vorbit, făcute de Cl. Shannon cu texte din limba engleză. Momentul care ne interesează aici este următorul: dacă se iau grupe de șapte note, calculatorul urmărește în fapt numai opera cu care a început; corelația pe șapte note este atît de puternică, „regula" artistului atît de strînsă, încît ea determină în întregime desfășurarea operei. Prin urmare, dacă regulile algoritmizate sînt „strînse", numărul variantelor este infim, iar la limită numai opera respectivă. Dacă ele sînt largi, numărul variantelor este extrem de mare: și o „maimuță, scriind la mașină", ar putea din întîmplare să scrie operele lui Shakespeare. Cine însă, remarca G. Gamov, ar putea „desprinde" acest text din imensitatea numărului de texte care s-ar deosebi pe ici pe colo de textul „adevărat" (sau „optim" dacă vreți).

Să zicem însă că numărul variantelor nu este prea mare sau că preselecția a fost făcută de calculatorul însuși pe baza „criteriilor estetice de optimizare" introduse de programator. Avem în față aceste variante. Evident nimeni și nimic nu va putea dovedi că compozitorul n-a avut în vedere varianta respectivă și nu a respins-o. Doar „optimul" în artă, ca și „gustul", nu are caracter absolut! O astfel de operă nu ar fi decît tot un produs al programatorului, produs obținut pe calea respectivă și selectat potrivit unui „optim" propriu epocii și programatorului. Am remarca în plus că „rețeta de produs opere de artă" seamănă structural foarte mult cu rețeta propusă drept „structură a gîndirii umane în rezolvarea problemelor puse în diferite situații, în concret în jocul de șah", rețetă care poate fi interesantă ca atare, dar care, potrivit cercetărilor experimentale făcute precum și unor considerente teoretice fundamentale, corespunde foarte puțin structurii reale a procesului de gîndire. Și dacă produsele obținute potrivit acestei rețete ar fi sau nu opere de artă o va arăta timpul, acest teribil judecător. Pînă atunci am subscrie că „aceste produse ale computerelor nu pot fi, credem, subsumate artei", ele intrînd în sfera paraartei... (și) distincția va rămîne valabilă nu numai pentru realizările actuale, schematice, cu inerentele stîngăcii de început ale computerelor, ci și pentru produsele lor viitoare, oricît de complexe și perfecte se vor dovedi *din punct de vedere formal*, deoarece, în principiu, nimic nu se va schimba"[1]. În ceea ce privește valoarea socială a acestei paraarte, socotim că nu ea va fi aceea care „va contribui esențial la satisfacerea acestei nevoi cantitative de frumos și de originalitate"[2], care se dezvoltă în societatea contemporană, pentru că societatea va trece, cu greu poate, dar va trece de la necesitatea cantitativă de frumos și originalitate la necesitatea calitativă, adică pur și simplu va cere artă. Și, cu atît mai mult, nu vedem că „un meloman iubitor al lui Bach, nevrozat de agresiunea atonală a muzicii dodecafonice, va prefera să se delecteze punînd computerul să-i prezinte un Bach inedit, compunînd și propunînd noi variații în cadrul strict al caracteristicilor muzicii sale, după procedeul pe care l-am amintit..."[3], decît doar dacă într-adevăr va fi nevrotic. Pur și simplu

[1] V.E. Maşek, *op. cit.*, p. 233.

[2] *Ibidem*, p. 238.

[3] *Ibidem*, p. 238.

ca meloman va prefera — s-ar putea să greșim, dar nu prea credem — să asculte Bach, Bach sau alt compozitor cu lumea lui, cu epoca lui, cu sensibilitatea lui, cu viziunea lui, cu adevărul lui, cu personalitatea lui[1].

Iată, prin urmare, pînă unde ne-a dus considerarea rolului emoțiilor și a afectelor în funcționarea sistemului nervos central uman. Nici un creier artificial nu va putea pretinde să fie cu adevărat creier dacă nu va da dovadă de personalitate, dacă nu va manifesta „personalitate", un „eu", adică ceva calitativ mult mai complex, decît prezintă cel mai complex creier artificial actual sau previzibil actualmente, chiar integrat într-un robot înzestrat cu tot felul de mijloace de comunicare și de interacțiune cu mediul.

Înainte de a considera posibilitățile eventuale de realizare a saltului calitativ spre viu, să încercăm să desprindem care anume latură a gîndirii naturale este machetată actualmente de creierii artificiali, să vedem care anume latură a gîndirii este prelungită cu ajutorul creierilor artificiali.

Greșeala care ne pare că se face cînd se echivalează creierul cu un automat, determinist sau probabilist, constă tocmai în presupunerea că există o relație liniară între *intrare, stare* și *ieșire*, că creierul lucrează după rețete, fie ele oricît de complexe și de condiționate. Din considerarea evoluției biologice și sociale rezultă exact contrarul: sistemul nervos central a apărut ca organ specific care la *stare veche* și *intrare nouă* să dea o *ieșire nouă* și să treacă, după caz, într-o *stare nouă* potrivit unei *legături* care se formează tocmai în procesul rezolvării situației noi ivite; sistemul nervos central s-a dezvoltat ca organ specific nu de executat rețete, ci de elaborat rețete!

Mai mult, există o concurență dialectică între *deja rezolvatul*, între rețeta constituită care transformă acțiunea în stereotip, iar creierul în automat de îndeplinit stereotipii, și încă *nerezolvatul*, care cere găsirea unei rețete adecvate unei situații noi; aparent paradoxal, deja rezolvatul este cel care asigură viul, prin faptul că lasă liber sistemul nervos să rezolve problemele cu adevărat noi, adică cele care pun realmente

[1] De fapt lucrul acesta se întîmplă deja; Bach este cîntat astăzi altfel decît cu cîteva decenii în urmă și mijloacele contemporane de înregistrare permit ascultarea operei respective într-o interpretare sau alta. Și ce altceva este jocul modern al teatrului vechi? Se face aceasta oare potrivit „regulilor de compoziție" ale autorului sau conform viziunii regizorului și actorilor contemporani?

problema continuării viului. Continuarea viului, care în multe cazuri se pune la propriu, se pune pentru *Homo sapiens* din ce în ce mai mult în mod transpus, transfigurat: omul nu vrea pur și simplu să trăiască, *omul vrea să trăiască într-un anumit* fel și grosul activității nestereotipe a creierului este îndreptat tocmai pe această latură a realizării unui *anumit fel* de a fi viu. Și cît de subtilă este remarca lui André Malraux că și sinuciderea este o manifestare a dorinței de a trăi, și anume a dorinței, de a trăi într-un anumit fel[1]. Dezvoltarea socială a lui *Homo sapiens* a schimbat, într-un anumit sens și caracterul primar al viului de a vrea să fie pur și simplu viu în a vrea să fie viu într-un anume fel, pe care și-l reprezintă ca necesar.

Prin urmare, fiecare problemă abordată prima dată de un sistem nervos central este o problemă de creație; pe măsură ce problemele sînt rezolvate, ele sînt trecute din sfera „de rezolvat" în sfera stereotipului[2]. În activitatea creierului există numeroase activități stereotipe; cu cît creierul poate efectua mai repede, mai bine și mai larg aceste activități, cu atît el rămîne mai liber pentru activitățile creatoare. Creierii artificiali constituie instrumente deosebit de rafinate de efectuare a proceselor stereotipe; prin viteza și capacitatea lor, ele permit desfășurarea unor astfel de programe pe care creierul uman, limitat pe aceste direcții, nu le-ar putea rezolva sau care i-ar ocupa într-atît capacitățile, încît i-ar reduce sensibil disponibilitățile pentru activitatea creatoare.

Diferențierea dintre activitatea creatoare și cea stereotipă nu se face însă numai în cadrul fiecărui creier, ci și la scară socială, prin diviziunea socială a muncii. Unii „creieri" (umani bineînțeles) sînt ocupați în principal cu munca intelectuală stereotipă, alții au o sferă liberă mai mare pentru munca de creație. Preluînd o parte din munca intelectuală stereotipă, calculatoarele eliberează *omul* de munca neagră intelectuală stereotipă, deschid posibilități noi în dezvoltarea socială a omului. Înainte însă de a trece la discutarea consecințelor sociale ale apariției creierilor artificiali, să încercăm

[1] „Cel ce se omoară aleargă după o imagine ce și-a făcut-o singur despre sine: nimeni nu se omoară niciodată decît pentru a exista" („*Calea regală*", Edit. „Cartea Românească", București, 1971, p. 13).

[2] Am văzut că, cel puțin pentru unele activități, zonele din creier care realizează un stereotip format sînt altele decît cele care elaborează stereotipul respectiv.

să răspundem și la întrebarea ce anume ar fi necesar să se realizeze pentru ca creierii artificiali să facă un salt calitativ și să dezvolte o gîndire creatoare. La nivelul cunoștințelor actuale este imposibil de a răspunde direct la această întrebare; răspunsul ar ține de domeniul științific-fantasticului, dacă nu pur și simplu de domeniul fantasticului. Indirect se poate răspunde că pentru a construi un creier artificial (mai general un sistem nervos) care să realizeze procese de gîndire în sensul larg al cuvîntului, adică de natura proceselor desfășurate de sistemul nervos uman, este necesar să se elaboreze nu un creier artificial, ci o viața artificială, și anume o viață artificială la un nivel de dezvoltare apropiat de cel mai complex nivel pe care îl cunoaștem pînă astăzi. Or, se poate afirma că *în principiu, nimic nu împiedică materia superior organizată să organizeze restul materiei la același nivel*; procesul vieții, oricît de complex ar fi el, este un proces al lumii materiale, care se desfășoară conform unor legi care îi sînt proprii; aceste legi pot fi cunoscute și, pe baza acestei cunoașteri, procesele din natură pot fi dirijate în așa fel, încît să se constituie artefactul-viață.

Din acest punct de vedere, concepțiile mecaniciste violente pe care le întîlnim la o serie de oameni de știință din domeniul ciberneticii și al biologiei sistemului nervos, au latura lor pozitivă, adică ele reprezintă „atacul" spontan al cercetătorilor care se ciocnesc cu realitatea lumii înconjurătoare împotriva concepțiilor spiritualiste, idealiste, dacă nu de-a dreptul religioase, încă împărtășite de o parte a intelectualității științifice în pofida structurii neștiințifice a acestor concepții[1].

Dar în afara acestei poziții de principiu se poate oare afirma ceva concret cu privire la această problemă? Vom sublinia doar că la nivelul cunoștințelor actuale a crea viață artificială poate semnifica mai multe lucruri. În primul rînd, poate semnifica organizarea proceselor de asemenea manieră, încît să aibă loc *ivirea în condiții de laborator*, in vitro, *a vieții din materia nevie*. Acest fapt implică serioase eforturi pentru

[1] Vezi, de exemplu, I. Piatnițchi, *Determinismul în genetică și fideismul contemporan*, Edit. politică, București, 1975. (În paranteză fie spus, lucrarea amintită constituind o foarte interesantă analiză a pozițiilor fideiste ale oamenilor de știință, dă dovadă, după noi cel puțin, de o anumită neînțelegere a determinismului așa cum se desprinde acesta din dezvoltarea fizicii contemporane. Compară, de exemplu, Ana Katz, *Dialectica în existență*, Edit. științifică, București, 1972).

înțelegerea mecanismelor biofizice, biochimice și biocibernetice și mai ales lămurirea saltului trecerii neviu-viu. Este greu de spus cît de departe ne aflăm de acest pas; el poate avea loc și foarte curînd, după cum mai poate și să întîrzie încă mult, însă el se află deja în „bătaia de pușcă" a activității umane. Probabil, pe această cale vor fi obținute la început forme de viață simple, „elementare", așa că problema realizării pe această cale de creieri artificiali este astăzi în afara sferei prognozei științifice. Vom menționa că eforturile îndreptate pe linia elaborării artificiale a vieții în laborator sînt mult ajutate de prezența calculatoarelor electronice, care permit punerea și rezolvarea unor probleme altfel inabordabile, ca să nu amintim decît modelarea pe calculator a diferitelor procese și substanțe.

Crearea vieții artificiale poate să însemne, în al doilea rînd, *crearea de forme noi de viață prin dirijarea informației genetice*, prin acționarea directă asupra macromoleculelor purtătoare de cod. Problema a ajuns și ea astăzi, ca să repetăm expresia, în „bătaia de pușcă" a activității umane, chiar „se trage"[1]. Această posibilitate, a cărei realizare va constitui, probabil, ceea ce se va numi revoluție biologică, va ridica multe probleme delicate, ca orice luare în stăpînire de către om a unor posibilități majore ale realității[2]. Cum, cînd și în ce măsură se va realiza acest lucru n-avem cum să știm. Ceea ce ni se pare clar este că acționînd asupra eredității

[1] Vezi D.R. Brown, *The isolation of genes*, în „Scientific American", august 1973, p. 21—29; F.H. Ruddle și R.S. Kucherlopati, *Hybrid cells and human genes*, în „Scientific American", iulie 1974, p. 36—44; A.A. Baev., *Problemî ghennoi injenerii*, în „Priroda", 1976, n. 1, p. 8—17; N.P. Dubinin, *Ghenetika na poroghe dalneișih otkrîtii*, în „Kommunist", 1975, nr. 18, p. 54—64. N.P. Dubinin consideră patru căi de inginerie genetică, adică de dirijare a organismului prin modificarea structurii genetice; izolarea genelor și utilizarea lor ulterioară; sinteza chimică a genelor (pînă în prezent s-a reușit sinteza unei gene formate din 77 de nucleotizi, „lungimea medie" a unei gene la formele superioare de viață fiind de 1 000~1 500 nucleotizi); sinteza fermentativă (enzimatică) a genelor (pînă în prezent genele obținute pe această cale, *in vitro*, nu trăiesc în celula vie); fragmentarea moleculelor de ADN în bucăți și folosirea fragmentelor ca material de transmis (fragmentare fizico-chimică sau biologică cu ajutorul unor virusuri). Dintre toate aceste căi, cea de mai mare perspectivă în prezent este ultima, prin care se speră obținerea unor prime rezultate practice, cum ar fi, de exemplu, lecuirea unor boli ereditare prin „furnizarea" genelor lipsă, responsabile de boala respectivă.

[2] Vezi Elena Knorre, *O „bombă atomică" în celula vie*, în „Lumea", 1975, nr. 50, p. 26—27; I.T. Frolov, *Sotialno-eticeskie problemî gheneticeskoi injenerii*, în „Priroda", 1976, nr. 1, p. 27—31.

se va putea acționa cîndva, deși mai este pînă atunci, direct și asupra sistemului nervos central, deoarece se va dirija formația activă complexă gata formată și nu se va urmări o dezvoltare din treaptă în treaptă de la formele simple spre cele complexe.

Am vrea să facem cîteva remarce în această privință. Prima se referă la cele pe care le-am discutat în capitolul „Reacție inversă și finalitate", și anume la faptul că sistemul nervos central apare la nou-născut doar cu anumite potențialități, că sistemul nervos central se constituie pe deplin dezvoltîndu-și atît structura fizică, neuronii, și legăturile dintre ei, cît și acel produs pe care-l numim conștiință, *ca urmare a interacțiunii cu mediul*; că creierul și conștiința apar ca rezultat a „înglobării" mediului exterior; că conștiința, prin natura sa, nu este individuală, ci condiționată de cultură, de viața socială. Prin urmare, se ridică destule semne de întrebare în privința faptului dacă pe cale genetică se vor putea influența conștiința, procesele superioare specifice sistemului nervos central uman, altfel decît cel mult prin deschiderea unor noi potențialități[1]. A doua remarcă se referă la faptul că o astfel de dirijare a eredității nu ar constitui decît un nou mod de continuare a unor vechi activități, dintre care cea mai veche și mai cunoscută este domesticirea. Domesticul este „artefactul crescut" și nu „asamblat" pe care l-am amintit cînd am discutat în general problema artificialului.

[1] Problema este în prezent atît de departe de o abordare concretă, încît astăzi poate fi considerată mai degrabă de domeniul științific-fantasticului. Merită însă să amintim aici, din punctul de vedere al dirijării conștiinței, al creării de viață „artefact", lucrarea lui J.M.R. Delgado, *Physical control of the mind (toward a psychocivilized society)*, la care am făcut dese și numeroase referințe în legătură cu procesele din creier și la formarea conștiinței. Depășind limitele proprii strălucitelor rezultate obținute pe linia explicării mecanismelor apariției conștiinței din activitatea electrochimică a creierului, autorul presupune — aceasta se vede deja din titlu — că gravele conflicte sociale pe care le trăiește societatea contemporană pot fi rezolvate prin studiul mecanismelor cerebrale, care determină „structura psihică a personalității" și prin măsuri directe de influențare a acesteia, prin acțiuni fizice, electrice directe asupra creierilor, ignorînd structura relațiilor sociale. Încă o dată ne întîlnim cu o extrapolare mecanicistă a unor rezultate dintr-un domeniu în altul legată de limite ideologice, limite care se manifestă cu putere în opiniile filozofice și sociale ale autorului, acesta situîndu-se pe poziții fără îndoială progresiste, dar care nu depășesc cadrul concepțiilor burgheze. Constatînd viciile societății în care trăiește autorul presupune naiv că acestea pot fi rezolvate prin acțiuni fizice directe asupra creierilor umani și nu prin modificarea însești a structurilor sociale care generează aceste vicii!

Am remarca, și nu este o glumă, că pe calea domesticirii *Homo sapiens* s-a străduit să obțină și a obținut animale pentru hrană, animale de povară și cîte unele, mai inteligente, pentru servicii de pază, dar nu și-a pus problema să-și domesticească animale de gîndit!

În fine, în al treilea rînd, crearea vieții artificiale ar putea avea loc pe calea *construirii, asamblării de formații active*, de „roboți vii" ca să spunem așa! Această cale, desigur, principial deschisă, este la ora actuală cel mai puțin conturată, calea pe care sînt de învins greutăți fundamentale, principiale, calea care la ora actuală apare cea mai problematică, deși despre rezultatele ce se vor obține pe această cale se scriu cele mai multe romane științifice-fantastice. Într-adevăr, dacă ne referim doar la evoluția calculatoarelor electronice, adică a „creierilor artificiali", și nu a formațiilor active artificiale ca un tot (a roboților), cu toată avansarea spectaculoasă înregistrată distanța pînă la sistemul nervos central uman continuă să rămînă enormă. În curs de circa 30 de ani, calculatoarele au progresat cu „trei generații": prima generație, calculatoarele cu tuburi electronice, fizic vorbind mari, cu un consum energetic relativ mare, cu viteze nu prea mari (zeci de mii, sute de mii de operații pe secundă), cu memorii relativ lente și relativ limitate; a doua generație, cu tranzistori, sensibil mai mici ca dimensiuni și greutate, cu consum sensibil redus, cu viteze pînă la milioane de operații pe secundă, cu memorii sensibil mai rapide și mai mari; a treia generație, cu circuite integrate[1], cu dimensiuni reduse, astfel că un „minicalculator" din generația a treia are posibilități mai mari decît cele mai mari calculatoare din generația întîi, calculatoarele din această generație mergînd la viteze de zeci de milioane de operații pe secundă, cu memorii extrarapide și extensibile prin adăugarea de noi blocuri funcționale. În paralel cu această dezvoltare a construcției calculatoarelor a avut loc dezvoltarea părții de sistem, a programelor generale de deservire, ceea ce a permis și permite extinderea radicală a capacității calculatoarelor[2]. În prezent se

[1] Dacă se compară densitatea de înscriere a informației într-un volum dat și se ia pentru tubul electronic densitatea 1, cu tranzistori se obține 10, cu circuite integrate (LSI, integrare la scară mare) 10^6, cu schemele de laseri (în curs de elaborare) 10^{12}, iar codul genetic are o densitate relativă pe volum de 10^{20}!

[2] Unii definesc generațiile de calculatoare după caracterul și amploarea programelor de sistem, alții după „arhitectura" acestora, adică după modul de realizare și interconectare a blocurilor mari funcționale.

conturează trăsăturile generației a patra, cu viteze de ordinul miliardelor de operații pe secundă, cu folosirea unor elemente de circuit în care purtătorul informației este lumina, utilizînd astfel pentru transmisia semnalului vitezele obținute cu ajutorul luminii, și, desigur mai vag, contururile generației a cincea, a calculatoarelor cu structură paralelă, în care transmisia și prelucrarea să se facă pe mii, zeci de mii, sute de mii de căi în paralel, oarecum, așa cum are ea loc în sistemul nervos al ființelor superioare. Cînd va avea loc realizarea acestor contururi, este greu de spus. Ceea ce putem afirma astăzi este că atît la nivelul elementului unitar celula pe de o parte, și circuitul integrat sau cel în perspectivă cu laseri, pe de altă parte, cît și la nivelul structurilor de ansamblu ale sistemelor nervoase și ale creierilor artificiali, diferența cantitativă chiar față de generațiile care se conturează este de așa de multe ordine de mărime, încît numai ea trebuie să dea de gîndit în privința treptelor calitative care urmează să fie depășite, ca să nu vorbim de faptul, pe care l-am subliniat de nenumărate ori, că în ceea ce privește cunoașterea sistemului nervos sîntem de-abia în pragul, abia la începutul ei.

În orice caz, nouă ni se pare astăzi că această cale de elaborare a vieții artificiale este cea mai îndepărtată. Dar, din punctul de vedere al desfășurării vieții omului, dimpotrivă, dezvoltarea acestor creieri artificiali, așa limitați cum sînt ei, are o influență majoră; dezvoltarea calculatoarelor electronice și a mijloacelor de automatizare constituie un element esențial a ceea ce a fost numit a doua revoluție industrială, a ceea ce se numește revoluția științifică și tehnică din secolul al XX-lea. Cu aceasta am ajuns la considerarea efectelor sociale ale apariției creierilor artificiali.

Desigur, în cadrul tematicii pe care ne-am propus-o nu intră discutarea acestei probleme în toată complexitatea ei. Sînt însă cîteva aspecte direct legate de tema pe care o tratăm și discutarea lor credem că va completa punctele de vedere pe care le-am schițat.

Să începem prin a observa că și formația naturală pe care o constituie (în sensul nostru) societatea a suferit de-a lungul istoriei un proces de evoluție, care prezintă un salt calitativ esențial odată cu trecerea de la societatea capitalistă la societatea socialistă. Și anume, odată cu trecerea la societatea socialistă, *Homo sapiens* extinde procesul de elaborare a artefactului, adică a unui produs care întîi este gîndit ca

proiect și pe urmă implementat în realitate, și la domeniul societății. Socialismul, ca primă treaptă, și comunismul, ca a doua treaptă, înseamnă „societatea artefact", construirea planificată a acesteia și scoaterea ei de sub imperiul evoluției spontane.

Modificarea structurii societății — trecerea la „societatea artefact", umanizarea societății — aduce cu sine și procesul de „autoelaborare" a omului însuși. În cadrul acestui proces, omul începe „să se treacă" pe sine însuși pe un nivel cantitativ nou, începe să se elaboreze ca *produs al propriului proces de umanizare*. Ținta, „planul" unui astfel de om îl constituie transformarea în cadrul societății-artefact a fiecărui individ al acesteia în personalități complexe, simultan puternic individualizate și puternic integrate. Aceste personalități trebuie să fie în măsură să preia întreaga responsabilitate a înțelegerii necesității obiective raționale și, pe baza acesteia, a responsabilității manifestării și exercitării din plin a libertăților, cucerite ca urmare a cunoașterii și luării în stăpînire a constrîngerilor naturii, societății și propriei structuri.

Și după cum, în paranteză fie spus, primele automobile semănau teribil cu diligențele, iar primele instrumente „făcute" cu cele găsite „gata" în natură, tot astfel unele elemente ale structurii primelor societăți-artefact prezintă asemănări cu vechea societate, *cu mențiunea fundamentală, esențială că în societatea socialistă există potențialități specifice care își fac drum prin acumularea experienței istorice și împing societatea spre forme radical noi, forme și esențe care o vor face în scurt timp de nerecunoscut*, ea constituindu-se ca ceva principial nou: „societatea umană artefact". Și, oricît de apropiate ar apărea societatea nouă și cea veche în jurul punctului de separare, niciodată societatea veche rămasă ca atare nu s-ar putea dezvolta spre ceva radical nou, după cum o diligență oricît de evoluată nu va deveni niciodată un automobil.

Mai sînt două aspecte legate direct de tema noastră pe care am vrea să le discutăm: primul, rolul creierilor artificiali în procesul de formare a omului nou; al doilea, ce semnificație au și cum trebuie considerate discuțiile și mai ales temerile despre crearea unei lumi a mașinilor artificiale. În ceea ce privește prima problemă, este evidentă o latură a chestiunii: dezvoltarea unor puternice mijloace de prelucrare a informației mărește puterea societății asupra naturii și însăși puterea de dirijare a societății. În cadrul acestui pro-

ces se pun la dispoziție mijloace puternice de efectuare a muncii intelectuale stereotipe, se eliberează creierii umani pentru munca intelectuală de creație și împreună cu dispozitivele automate se eliberează în general societatea de necesitatea livrării unei munci stereotipe, deschizîndu-se cale largă muncii creatoare, pe acest drum punîndu-se la dispoziția omului din ce în ce mai mult timp liber. Odată cu mărirea timpului liber, pe primul plan apare, desigur, problema folosirii lui și cea legată de educarea noilor generații în acest sens. În legătură cu problema educării se pune și problema folosirii mijloacelor tehnice de instruire, a folosirii calculatoarelor nu ca instrumente de lucru, ca pe un auxiliar puternic, ci ca dirijatoare și realizatoare a procesului de instruire, folosirea calculatoarelor pe post de profesor. Oricît de entuziaste ar fi unele articole referitoare la folosirea în acest fel a calculatoarelor, considerăm acest entuziasm ca fiind neîntemeiat. Din toate cele spuse pînă acum rezultă prăpastia care desparte gîndirea formală de cea creatoare. Ni se pare o contradicție în subiect folosirea dispozitivelor cu structură și comportament esențialmente formal, mecanic, pentru a dezvolta aptitudinile creatoare ale tinerei generații. « Tot mai mulți pedagogi încep să considere ca scop al învățării nu numai acumularea de cunoștințe, însușirea unor practici, formarea anumitor îndemînări, ci, ceea ce este mai important, dezvoltarea capacităților creatoare, a perspicacității, a spiritului de observație, a darului de neprețuit al imaginației»[1]. Și, în raport cu aceasta, « cît valorează oare „imaginația" unui robot sau a unui calculator electronic? Cît valorează oare relațiile dintre oameni constituite pe „principiile calculatoarelor electronice"? Căci „omul este un nod de relații și numai relațiile contează pentru el", notează Antoine de Saint-Exupery»[2]. Educarea și dezvoltarea forțelor creatoare ale creierului uman cer o muncă individuală atentă de educare la tineri a aptitudinilor creatoare, muncă care să se desfășoare într-o ambianță socială corespunzătoare.

Aici ajungem la punctul-cheie: omul este o ființă socială, este un produs social. Pentru a obține un om nou, trebuie ca societatea *în fapt*, în structura, în acțiunile ei, în mecanis-

[1] Vezi Ț.P. Korolenko și G.V. Frolova, *Ciudo voobrajenia (voobrajenie v norme i patologhii)*, Izd. „Nauka", Sib. otd., Novosibirsk, 1975, p. 9.

[2] *Ibidem*, p. 7.

mele ei să fie îndreptată pe un drum nou [1]. Și nu credem întru nimic justificat modul de abordare al acestei probleme de către unii oameni de știință, plini de bunăvoință, dar naivi, care cred că dezvoltarea mijloacelor tehnice de rezolvare a problemelor intelectuale va conduce de la sine la progresul social, la rezolvarea proceselor sociale. Evident, dezvoltarea mijloacelor tehnice împinge înainte progresul social, dar îl împinge *mediat*, creînd, ascuțind necesitatea schimbărilor sociale. Trecerea progresului social din domeniul necesității și al potențialității în domeniul realului are loc însă ca urmare a acțiunii sociale.

Creierii artificiali, mărind posibilitățile de cunoaștere și de acțiune ale oamenilor, deschid, fără îndoială, calea spre un progres social mai rapid. Cum și cît de repede este parcursă această cale depinde de gradul de înțelegere a desfășurării procesului social, depinde de capacitatea de a vedea realmente situația obiectivă din societatea dată, de a descoperi rezervele pe care le are și de a fixa sarcini și etape pe măsura acestor posibilități și rezerve.

Desfășurarea efectivă a procesului social este condiționată de dezvoltarea conștiinței sociale, care, la rîndul ei, depinde și ea de acest proces. Sîntem și aici în fața unui puternic proces neliniar, a cărui stăpînire cere efortul celor mai buni creieri umani, creierii artificiali neputînd servi decît ca instrumente simple și limitate.

Cît privește a doua problemă, temerile cu privire la apariția și dezvoltarea unei societăți a mașinilor artificiale, pe deasupra și dușmănoasă umanității, considerăm că acestea trebuie privite mai mult ca o reflectare a unei poziții ideologice de frică în fața dezvoltării societății decît ca judecăți referitoare la o perspectivă reală a viitorului.

Într-adevăr, apare lipsit de orice bază să vorbim despre o societate a mașinilor artificiale nu în sensul în care ea există astăzi (întreaga noastră societate este doar plină de mașini, de artefact), ci în sensul că aceasta s-ar constitui într-o societate în sine și pentru sine. Ar trebui ca omul să construiască (amintim de toate cele spuse pînă acum despre nivelul tehnic actual și cel previzibil într-o extrapolare știin-

[1] Și la acest nivel de formație activă, acțiunea practică se desfășoară cu un pas înaintea reflectării; este dealtfel teza de bază a materialismului istoric că baza determină suprastructura, evoluția bazei, evoluția suprastructurii.

ţifică) nu numai viaţa artificială „edificată" local, „individ" cu „individ", ci viaţa artificială cu conştiinţa de sine, avînd, în plus, capacitatea de a dezvolta şi o conştiinţă socială de sine, condiţie *sine qua non* a apariţiei unei societăţi! Că nu există o limitare principială în calea unei astfel de realizări este altceva. Concret, astăzi ea este de domeniul ştiinţific-fantasticului.

Şi fiindcă am ajuns în domeniul ştiinţific-fantasticului am vrea să rezumăm aici, drept încheiere, una dintre numeroasele povestiri ştiinţifice-fantastice referitoare la roboţi, la creierii artificiali, o povestire semnată de un mare om de ştiinţă şi excelent autor de astfel de povestiri, Isaac Asimov. O redăm nu de dragul povestirii, ci pentru că ea strînge ca într-un focar întreaga problematică pe care am discutat-o, desprinzînd cu multă subtilitate momentele esenţiale.

... Astfel, psihologul-şef urmărea cu multă atenţie şi nelinişte comportarea celui mai mare creier artificial construit vreodată, ultimul calculator realizat de firma X. Firma primise să rezolve o problemă foarte grea de la o firmă concurentă Y şi existau mari temeri că problema pusă era de asemenea natură încît ar putea să ducă la autodistrugerea calculatorului. Prin urmare, psihologul-şef urmăreşte rezolvarea problemei de către calculator, îndrumarea în zborul prevăzut a unei nave spaţiale speciale construită de firma concurentă, navă care are la bordul ei un grup de specialişti de primă mînă. Îngrijorarea psihologului-şef vine de acolo că în codul moral al creierilor artificiali, ca şi al roboţilor în general, este înscrisă ca primă poruncă de comportare cu executare obligatorie, indicaţia că, dacă acţiunea automatului pune în pericol viaţa unei fiinţe umane, automatul se autodistruge, salvînd fiinţa umană. Iar zborul navei prezintă mari pericole, mai ales un pericol ascuns, pe care firma concurentă nu l-a dezvăluit.

Zborul începe. La început calmă, pe măsura desfăşurării zborului, comportarea creierului artificial devine agitată, neliniştită. Psihologul-şef urmăreşte atent comportarea calculatorului, decis în caz de nevoie să intervină şi să întrerupă rezolvarea problemei spre a salva această ultimă creaţie, cea mai complexă care a fost realizată vreodată în domeniul inteligenţei artificiale.

În timpul acesta, specialiştii de pe bordul navei se pregătesc pentru marea aventură: conform proiectului nava va trebui să atingă viteza luminii şi apoi, depăşind-o, să spargă

bariera timpului şi, trecînd întreg personalul printr-o moarte aparentă, să-l aducă în viaţa dinainte.

Creierul artificial dă semne de nelinişte din ce în ce mai puternice. Diferitele semnalizări şi organe de comandă îşi schimbă cu repeziciune stările, se vede că creierul artificial este pus în faţa unei grele dileme. Psihologul-şef este în plină alarmă, cînd creierul artificial brusc... *rîde* şi se destinde!

Rezolvînd problema spargerii timpului şi a trecerii prin moartea aparentă, înţelegînd că moartea este doar aparentă şi că, prin urmare, nu este cazul de pus în aplicare teribila poruncă de autodistrugere, înţelegînd contradicţia dintre situaţia formală şi cea reală, creierul artificial are cea mai specifică reacţie a creierului uman: *rîde*; *deşi toate arătau că ar fi rău, totuşi e bine*!...

Pentru a rîde este nevoie de imaginaţie. Pentru a crea este nevoie de imaginaţie. Pentru a dori şi a realiza noul trebuie să poţi să imaginezi acest nou. Imaginaţia şi fantezia nu sînt proprietăţi transcedentale ale fiinţei umane. Ele sînt capacitatea creierului de a gîndi dialectic, de a simţi dialectic, de a nu proceda prin analogii şi asemănări formale şi a gîndi numai prin deducţii logice-formale, în care noul nu este decît aparent, concluzia fiind implicată univoc în premise. Imaginaţia şi fantezia mijlocesc cele mai neaşteptate asociaţii conducînd la descoperirea în real a legăturilor „ascunse", formal neaparente. Imaginaţia şi fantezia mijlocesc trăsătura fundamentală a conştiinţei umane, disponibilitatea pentru nou.

19 lei
4373

CUPRINS

I. Introducere 7
II. Energie și entropie 13
III. Interacțiunea informațională 45
IV. Reflectare și cunoaștere 99
V. Reacție inversă și finalitate 133
VI. Creierii artificiali 202
VII. Creier uman și creier artificial 267
Bibliografie 324

REDACTOR: GHEORGHE PAL
TEHNOREDACTOR: CONSTANTIN IORDACHE

COLI DE TIPAR: 20,5
TIRAJUL: 12 500 EX.
BUN DE TIPAR: 4.III.1977

Tiparul executat sub comanda
nr. 782 la
Întreprinderea Poligrafică
„13 Decembrie 1918"
str. Grigore Alexandrescu nr. 89—97
București,
Republica Socialistă România